



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CENTRO TECNOLÓGICO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

André dos Santos Souza

**APLICAÇÃO DE MATERIAIS ASFÁLTICOS RECICLADOS EM
CAMADA DE REFORÇO DE REVESTIMENTO DE PAVIMENTOS
FLEXÍVEIS – ESTUDO DE DIMENSIONAMENTO**

Florianópolis - SC

2016



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CENTRO TECNOLÓGICO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

André dos Santos Souza

**APLICAÇÃO DE MATERIAIS ASFÁLTICOS RECICLADOS EM
CAMADA DE REFORÇO DE REVESTIMENTO DE PAVIMENTOS
FLEXÍVEIS – ESTUDO DE DIMENSIONAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Engenheiro Civil.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Luciana Rohde

Florianópolis – SC

2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Souza, André dos Santos

Aplicação de materiais asfálticos reciclados em camada de reforço de revestimento de pavimentos flexíveis - estudo de dimensionamento / André dos Santos Souza ; orientadora, Luciana Rohde - Florianópolis, SC, 2016.
126 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.
Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

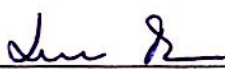
1. Engenharia Civil. 2. Pavimentação rodoviária. 3. Pavimento flexível. 4. Reciclagem. 5. Reforço de revestimento. I. Rohde, Luciana. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

APLICAÇÃO DE MATERIAIS ASFÁLTICOS RECICLADOS EM CAMADA DE REFORÇO DE REVESTIMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS – ESTUDO DE DIMENSIONAMENTO

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Engenheiro Civil.

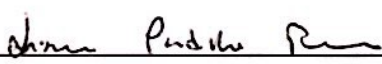
André dos Santos Souza

Florianópolis, 27 de Junho de 2016




P/ Prof.ª Dr.ª Luciana Rohde
Orientadora

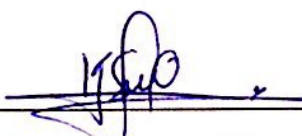
Banca Examinadora:



Prof.ª Dr.ª Liscane Padilha Thives
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof.º Dr.º Rafael A. Reis Higashi
Universidade Federal de Santa Catarina



Eng.ª MSc. Keyla Junko Chaves Shinohara
Laboratório de Transportes e Logística

Dedico este trabalho aos meus pais Antônio e Marlene e aos meus irmãos Francisco, Adailton, Adailson e Aldair por todo apoio e incentivo dados durante toda a trajetória desta importante etapa de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Meu muito obrigado a minha maior inspiração de vida e batalhadora mãe Marlene, ao meu grande pai Antônio, e aos meus bons e companheiros irmãos Francisco, Adailton, Adailson e Aldair. Por toda a confiança e por tudo que fizeram e fazem por mim até hoje, todo o suporte e apoio, não só nos momentos bons, mas principalmente nos momentos de dificuldades passados. Se cheguei até aqui, foi graças a vocês, e tenho minha eterna gratidão por isto.

A orientadora deste trabalho, Luciana Rohde por todas as orientações e recomendações dadas. Uma pessoa amável e que sempre esteve disposta a me ajudar, me lembrarei com muito carinho de você.

Aos membros da banca, prof.^a Dr.^a Liseane Padilha, prof.^o Dr.^o Rafael A. Reis Higashi e a eng.^a MSc. Keyla Junko Chaves Shinohara, por aceitarem o convite e contribuírem com a melhoria deste trabalho.

A toda equipe do LABTRANS/DNIT, pessoas extraordinárias que surgiram em minha vida nesta etapa final de curso. Em especial a Keyla Shinohara, Adosindro Almeida, Gustavo Otto e Tiago Tamagusko, a qual me proporcionaram muitos momentos de grande aprendizado e de crescimento pessoal. Sempre me lembrarei de vocês, pessoas de bem e altamente capacitadas no que fazem.

Aos meus amigos, de longa data e os conhecidos durante a graduação, agradeço a companhia, os momentos de união para os estudos, e também os momentos de felicidades compartilhados.

A todos os professores do curso de Engenharia Civil, por todos os ensinamentos dados de forma primorosa.

A Universidade Federal de Santa Catarina pela excelentíssima qualidade de ensino, e por todo o suporte dado durante o tempo de graduação.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis”.

José de Alencar

RESUMO

Nos dias atuais, com a alta demanda de recursos naturais usados como materiais de construção, tem-se a necessidade de buscar formas de reduzir o uso destes recursos e amenizar o impacto que estas ações geram para o meio ambiente. Na pavimentação rodoviária, uma forma de minimizar a escassez de recursos naturais trata da utilização de materiais reciclados nas camadas do pavimento. Sendo assim, este trabalho busca estudar formas ambientalmente sustentáveis para a realização da restauração de pavimentos flexíveis que estejam no fim de sua vida útil. Entre as formas de restaurar um pavimento flexível, existe a possibilidade de reciclar os resíduos de um pavimento deteriorado e reutilizá-los como parte da nova mistura a ser aplicada. Foram realizados dimensionamentos de camada de reforço de revestimento de trechos de pavimentos flexíveis deteriorados com o uso de material asfáltico reciclado. Os dimensionamentos seguem as recomendações dadas pelos procedimentos normativos DNER PRO 11/79 e DNER PRO 269/94. Os trechos de pavimentos flexíveis deteriorados utilizados como referência para os dimensionamentos foram estudados por Luiz Felipe da Silva da Fonseca. Estes trechos encontram-se na BR 222/CE e neles são apresentados estudos das condições de como se encontrava o pavimento em relação às deflexões, porcentagem de trincas, e estudo de tráfego. A partir da escolha destes trechos com necessidade de se realizar processos de restauração, foram escolhidos cinco tipos de materiais asfálticos reciclados como composição para a mistura do concreto asfáltico para ser usado como camada de reforço do revestimento, usando material fresado e alternando o tipo de agente reciclador, entre eles, agente rejuvenescedor, agente de reciclagem emulsionado, espuma de asfalto e cimento Portland. Estes materiais foram estudados por outros autores, que realizaram em seus estudos a caracterização mecânica do material reciclado, obtendo valores de resistência à tração e módulo de resiliência, necessários para a realização dos dimensionamentos. Por meio do procedimento DNER PRO 269/94 foram feitas comparações de espessuras dos reforços do revestimento contemplando o uso de material novo ou material reciclado, para uma análise de viabilidade destes materiais como opções para a execução nos trechos dos pavimentos flexíveis deteriorados. A análise indicou que os materiais reciclados a quente com agente rejuvenescedor são mais aptos a serem usados como materiais para a camada de reforço de revestimento, enquanto que para os materiais reciclados a frio, constatou que pode ser feito o seu uso no revestimento, porém em alguns casos a aplicação de uma camada de material asfáltico novo juntamente com a camada de material asfáltico reciclado pode ser necessária, para garantir um maior desempenho mecânico e maior tempo de uso do pavimento, isto implica em alguns casos, em espessuras de revestimento abaixo de 5 cm, o que pode inviabilizar a sua execução.

Palavras-chave: Pavimentação rodoviária; Pavimento flexível; Reciclagem; Reforço de revestimento; Material asfáltico reciclado.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1 - Seção transversal de um pavimento flexível..... | 28 |
| Figura 2- Trincas em um pavimento flexível | 30 |
| Figura 3 – Deformação permanente em um pavimento flexível | 32 |
| Figura 4 – Tipos de curvas de afundamento nas trilhas de roda considerando os efeitos de umidade e conservação | 33 |
| Figura 5 – Desagregação em um pavimento flexível | 34 |
| Figura 6 – Etapas do processo de restauração | 36 |
| Figura 7 – Processo de fresagem | 40 |
| Figura 8 – Dispositivo de reciclagem a frio no local..... | 42 |
| Figura 9 – Tipos de reciclagem a frio..... | 43 |
| Figura 10 – Usina gravimétrica por batelada..... | 46 |
| Figura 11 – Drum mixer | 47 |
| Figura 12 - Desempenho de um pavimento..... | 51 |
| Figura 13 - Prensa Marshall | 54 |
| Figura 14 - Esquema do ensaio de compressão diametral..... | 54 |
| Figura 15 - Equipamento para obtenção do módulo de resiliência | 56 |
| Figura 16 – Fluxograma do método | 59 |
| Figura 17 - Estrutura de referência do TECNAPAV..... | 66 |
| Figura 18 - Fluxograma para o cálculo de HR usando material asfáltico reciclado..... | 69 |
| Figura 19 - Perfil longitudinal do pavimento do segmento homogêneo 69 | 71 |
| Figura 20 - Perfil longitudinal do pavimento dos segmentos homogêneos 87 e 88..... | 72 |
| Figura 21 - Perfil longitudinal do pavimento do segmento homogêneo 91 | 72 |
| Figura 22 - Perfil longitudinal do pavimento dos segmentos homogêneos 103 a 105..... | 73 |
| Figura 23 - Perfil longitudinal do pavimento dos segmentos homogêneos 106 a 108..... | 73 |
| Figura 24 - Curva granulométrica do material reciclado obtida por David (2006)..... | 78 |
| Figura 25 - Curva granulométrica do material reciclado obtida por Dama (2003) | 80 |
| Figura 26 - Curva granulométrica do material reciclado obtida por Luvizão (2014)..... | 81 |
| Figura 27 - Curva granulométrica do material reciclado obtida por Zubaran (2014) | 82 |
| Figura 28 – Curva granulométrica do material fresado obtida por Lima (2003) | 83 |
| Figura 29 - Comparação de dimensionamento (Mistura 1)..... | 102 |
| Figura 30 - Comparação de dimensionamento (Mistura 2)..... | 102 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 - Guia para seleção de métodos de reciclagem..... | 49 |
| Tabela 2 - Classificação dos solos..... | 65 |
| Tabela 3 - VMDa e número "N" para o ano 2022 horizonte de projeto da BR-222/CE | 70 |
| Tabela 4 - Resumo de ensaios das bases dos segmentos selecionados da BR-222/CE..... | 74 |
| Tabela 5 - Resumo de ensaios das sub-bases dos segmentos selecionados da BR-222/CE..... | 75 |
| Tabela 6 - Resumo de ensaios dos subleitos dos segmentos selecionados da BR-222/CE..... | 76 |
| Tabela 7 - Resumo das medidas de deflexão característica..... | 77 |
| Tabela 8 - Valores de RT e MR obtidos por David (2006) | 79 |
| Tabela 9 – Valores de RT e MR obtidos por Dama (2003)..... | 80 |
| Tabela 10 - Valores de RT e MR obtidos por Luvizão (2014)..... | 82 |
| Tabela 11 - Valores de RT e MR obtidos por Zubaran (2014)..... | 83 |
| Tabela 12 - Valores de RT e MR obtidos por Lima (2003) | 84 |
| Tabela 13 – Resumo para mistura 1 | 84 |
| Tabela 14 - Resumo para mistura 2 | 85 |
| Tabela 15 - Dimensionamento do reforço realizado por Fonseca (2013) pelo método DNER PRO 11/79 | 87 |
| Tabela 16 - Dimensionamento do reforço realizado por Fonseca (2013) pelo método DNER PRO 269/94 | 89 |
| Tabela 17 - Resultados obtidos a partir dos trechos estudados por Fonseca (2013) | 90 |
| Tabela 18 - Dimensionamento usando material fresado + ARE-75..... | 94 |
| Tabela 19 - Dimensionamento usando material fresado + pó + RL-1C..... | 95 |
| Tabela 20 – Dimensionamento usando material fresado + filer + água + espuma de asfalto (antes da aplicação) | 96 |
| Tabela 21 - Dimensionamento usando material fresado + filer + água + esp. de asfalto (depois da aplicação)..... | 97 |
| Tabela 22 - Dimensionamento usando material fresado + cimento + pó de pedra | 98 |
| Tabela 23 - Dimensionamento usando material fresado (50%) + CAP 30/45 (20%) + AR-75 (80%) | 99 |
| Tabela 24 - Dimensionamento usando material fresado (50%) + CAP 30/45 (50%) + AR-75 (50%) | 99 |
| Tabela 25 - Dimensionamento usando material fresado (30%) + CAP 50/60 + AR-75 | 100 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 26 - Dimensionamento usando material fresado (50%) + CAP 50/60 + AR-75 | 101 |
| Tabela 27 - Dimensionamento usando o material de David (2006) Parte 1..... | 111 |
| Tabela 28 - Dimensionamento usando o material de David (2006) Parte 2..... | 111 |
| Tabela 29 - Dimensionamento usando o material de David (2006) Parte 3..... | 112 |
| Tabela 30 - Dimensionamento usando o material de Dama (2003) Parte 1 | 112 |
| Tabela 31 - Dimensionamento usando o material de Dama (2003) Parte 2..... | 113 |
| Tabela 32 - Dimensionamento usando o material de Dama (2003) Parte 3..... | 113 |
| Tabela 33 - Dimensionamento usando o material de Luvizão (2014) Parte 1 | 114 |
| Tabela 34 - Dimensionamento usando o material de Luvizão (2014) Parte 2 | 114 |
| Tabela 35 - Dimensionamento usando o material de Luvizão (2014) Parte 3 | 115 |
| Tabela 36 - Dimensionamento usando o material de Zubaran (2014) Parte 1 | 115 |
| Tabela 37 - Dimensionamento usando o material de Zubaran (2014) Parte 2 | 116 |
| Tabela 38 - Dimensionamento usando o material de Zubaran (2014) Parte 3 | 116 |
| Tabela 39 - Dimensionamento usando o material de Lima (2003) Parte 1 | 117 |
| Tabela 40 - Dimensionamento usando o material de Lima (2003) Parte 2 | 117 |
| Tabela 41 - Dimensionamento usando o material de Lima (2003) Parte 3 | 118 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 - Resumo das causas e tipos de deformação permanente | 32 |
| Quadro 2– Classificação dos processos de reciclagem de pavimentos | 39 |
| Quadro 3 - Resumo de autores e materiais selecionados..... | 60 |
| Quadro 4 - Critérios para avaliação estrutural..... | 62 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------------------|---|
| AASHTO | <i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i> |
| AAUQ | Areia Asfalto Usinada a Quente |
| AR | Agente Rejuvenescedor |
| ARE | Agente de Reciclagem Emulsionado |
| ARRA | <i>Asphalt Recycling and Reclaiming Association</i> |
| CA | Concreto Asfáltico |
| CAP | Cimento Asfáltico de Petróleo |
| CBR | <i>California Bearing Ratio</i> |
| CBUQ | Concreto Betuminoso Usinado a Quente |
| CP II-F-32 | Cimento Portland Composto com Filer |
| CREMA | Contrato de Recuperação e Manutenção de Rodovias |
| D _{adm} | Deflexão Admissível |
| D _p | Deflexão de Projeto |
| DER/SP | Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo |
| DNER | Departamento Nacional de Estradas de Rodagem |
| DNER-ME | Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Método de Ensaio |
| DNER-PRO | Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Procedimento |
| DNIT | Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes |
| DNIT-ES | Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – Especificação de Serviço |
| DNIT-TER | Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – Terminologia |
| FHWA | <i>Federal Highway Administration</i> |
| FWD | <i>Falling Weight Deflectometer</i> |
| HR | Espessura do Reforço |
| IPR/USP | Instituto de Pesquisas Rodoviárias da Universidade de São Paulo |
| ISC | Índice de Suporte Califórnia |
| I.G.G | Índice de Gravidade Global |
| LVC | Levantamento Visual Contínuo |
| MR | Módulo de Resiliência |
| M _{ef} | Módulo de Resiliência do Revestimento Existente |
| MR _c | Módulo de Resiliência da Mistura Betuminosa Reciclada |

| | |
|----------|--|
| NBR | Norma Brasileira |
| Número N | Número de repetições do eixo simples padrão de 8,2 toneladas força |
| PMF | Pré-Misturado a Frio |
| R | Raio de Curvatura |
| RL | Emulsão Asfáltica de Ruptura Lenta |
| RAR | Revestimento Asfáltico Recuperado |
| RT | Resistência à Tração |
| USACE | <i>United States Army Corps of Engineers</i> |
| VMDA | Volume Médio Diário Anual |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 23 |
| 1.1 | Objetivo Geral | 24 |
| 1.2 | Objetivos Específicos..... | 24 |
| 1.3 | Justificativa | 24 |
| 1.4 | Estrutura do Trabalho | 24 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 27 |
| 2.1 | Pavimentos Rodoviários..... | 27 |
| 2.2 | Deterioração de Pavimentos Rodoviários | 28 |
| 2.3 | Patologias em um Pavimento..... | 30 |
| 2.3.1 | Trincamento..... | 30 |
| 2.3.2 | Deformações Permanentes | 31 |
| 2.3.3 | Desagregação..... | 34 |
| 2.4 | Processo de Restauração | 35 |
| 2.5 | Reciclagem de Pavimentos..... | 38 |
| 2.5.1 | Reciclagem a frio..... | 39 |
| 2.5.2 | Reciclagem a frio <i>in situ</i> | 41 |
| 2.5.3 | Reciclagem a quente..... | 46 |
| 2.5.4 | Reciclagem a quente <i>in situ</i> | 47 |
| 2.5.5 | Escolha do Método de Reciclagem x Tipo de Defeito no Pavimento..... | 49 |
| 2.6 | Avaliação Funcional e Estrutural de um Pavimento Reciclado..... | 50 |
| 2.6.1 | Avaliação Funcional | 52 |
| 2.6.2 | Avaliação Estrutural | 52 |
| 2.6.3 | Caracterização Mecânica das Misturas Asfálticas Recicladas | 53 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODO | 59 |
| 3.1 | Pesquisa Bibliográfica | 59 |

| | |
|---|------------|
| 3.2 Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis | 60 |
| 3.2.1 Procedimento Normativo DNER-PRO 11/79 | 60 |
| 3.2.2 Procedimento Normativo DNER PRO 269/94..... | 64 |
| 3.2.2.1 Dimensionamento do Reforço com Mistura Nova | 65 |
| 3.2.2.2 Dimensionamento do Reforço com Mistura Reciclada..... | 68 |
| 3.3 Dados de Entrada | 70 |
| 3.3.1 Seções de Referência de Dimensionamento | 70 |
| 3.3.2 Materiais Asfálticos Reciclados Usados para o Dimensionamento do Reforço | 77 |
| 4 RESULTADOS | 87 |
| 4.1 Dimensionamento do Reforço das Seções de Referência | 87 |
| 4.2 Propostas de Dimensionamento Empregando Materiais Reciclados..... | 90 |
| 4.2.1 David (2006)..... | 91 |
| 4.2.2 Dama (2003) | 96 |
| 4.2.3 Luvizão (2014) | 98 |
| 4.2.4 Zubarán (2014) | 99 |
| 4.2.5 Lima (2003) | 100 |
| 4.3 Comparação de Resultados de Dimensionamento entre o Material Novo e o Material Reciclado..... | 102 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES..... | 105 |
| 5.1 Considerações Finais | 105 |
| 5.2 Recomendações para Trabalhos Futuros | 106 |
| REFERÊNCIAS | 107 |
| APÊNDICE – Tabelas de cálculo de dimensionamento da camada de reforço do revestimento para todos os autores estudados..... | 111 |
| ANEXO – Soluções de pavimentação BR-222/CE realizados por Fonseca (2013)..... | 119 |

1 INTRODUÇÃO

A forma desenfreada de como são utilizados atualmente os recursos naturais, está levando o mundo em que vivemos ao seu desequilíbrio ambiental. A demanda por recursos naturais aumenta a cada dia, enquanto a oferta diminui no mesmo ritmo, colocando em risco o meio ambiente e suas gerações futuras. Entre os recursos naturais mais utilizados está o petróleo, seu uso é necessário para a fabricação de vários produtos, entre eles o asfalto. Uma das formas de contribuir com a manutenção dos recursos naturais de forma sustentável, é se reciclando os materiais, promovendo sua reutilização e, conseqüentemente, a diminuição da necessidade do uso de materiais novos.

Desta forma, buscando contribuir para um crescimento sustentável na área de pavimentação asfáltica, este trabalho aborda o assunto de uso de materiais asfálticos reciclados na restauração de pavimentos.

Um pavimento deteriorado ou no fim de sua vida útil, deve ser recuperado ou reconstruído dependendo de sua condição estrutural, respeitando as premissas de que um bom pavimento deve ter durabilidade, segurança, e promover conforto ao usuário.

Uma das opções possíveis no momento de se recuperar um pavimento é reutilizar o material a ser retirado e usá-lo como parte do material da nova mistura para a construção do novo pavimento ou parte dele, promovendo o menor uso de material novo na mistura, e contribuindo para a diminuição da extração de novos recursos naturais.

Neste trabalho são abordados os processos necessários para se realizar a reciclagem de um pavimento flexível, e também a realização de dimensionamento da camada de reforço do revestimento de um pavimento referência, obtido de outro trabalho acadêmico que contém os dados necessários para a realização do dimensionamento. Os materiais asfálticos reciclados são obtidos através de pesquisa bibliográfica, no qual buscou-se trabalhos de outros autores que continham estudos sobre o tema. Estes materiais recebem processos de reciclagem a frio ou a quente, no qual as misturas podem conter agentes de reciclagem a base de emulsão asfáltica, espuma de asfalto, cimento ou agente rejuvenescedor.

1.1 Objetivo Geral

Dimensionar camadas de reforço de revestimento para pavimentos flexíveis a serem recuperados com o uso de materiais asfálticos reciclados através da metodologia DNER PRO 269/94.

1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o uso de materiais asfálticos reciclados na restauração de pavimentos;
- Comparar os resultados de dimensionamento entre um pavimento com material novo e com material reciclado;
- Contribuir junto a outras pesquisas que tenham como o enfoque a reciclagem de pavimentos na análise de viabilidade de se realizar estes processos ambientalmente sustentáveis.

1.3 Justificativa

Este trabalho de conclusão de curso tem como justificativa do seu estudo, a importância de se buscar formas sustentáveis de construções/restaurações de rodovias, contribuindo com a diminuição da taxa de extração de agregados de jazidas, menor uso de petróleo para a produção de cimento asfáltico de petróleo e evitando que resíduos de pavimentos deteriorados sejam descartados em bota-foras ou locais inapropriados, promovendo um desenvolvimento racional e uma garantia de qualidade de vida para gerações futuras.

1.4 Estrutura do Trabalho

Para se alcançar os objetivos propostos neste trabalho de conclusão de curso, o mesmo foi estruturado em cinco capítulos, apresentados a seguir:

- **Capítulo 1 - Introdução:** Neste capítulo é realizada uma abordagem geral do assunto tratado, onde são apresentados os objetivos, justificativa e estrutura do trabalho;
- **Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica:** Neste capítulo abordam-se os temas fundamentais para o entendimento do papel da reciclagem na área de pavimentação e como se realizam estes processos;
- **Capítulo 3 - Materiais e Métodos:** Neste capítulo é apresentada a forma de obtenção dos materiais asfálticos reciclados e os procedimentos para o dimensionamento da camada de reforço de um pavimento flexível segundo os procedimentos DNER PRO 11/79 e DNER PRO 269/94;

- **Capítulo 4 - Resultados:** Neste capítulo é apresentado o pavimento referência escolhido, juntamente com os materiais asfálticos reciclados, e o dimensionamento de suas camadas de reforço do revestimento;
- **Capítulo 5 – Considerações Finais e Recomendações:** Neste capítulo são apresentadas as considerações finais sobre as proposições para estudos futuros.
- **Referências:** São apresentadas as referências bibliográficas utilizadas no trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As definições do que é um pavimento rodoviário, das patologias que podem ocorrer no mesmo e os processos para se recuperá-lo são apresentadas neste capítulo. Entre as opções existentes para recuperar um pavimento, há a opção de reciclagem do pavimento deteriorado, usando os seus resíduos como parte da mistura nova a ser aplicada no novo pavimento. Estas opções de reciclagem e os ensaios necessários para a avaliação do desempenho mecânico do pavimento recuperado são apresentados também neste capítulo.

2.1 Pavimentos Rodoviários

Um pavimento rodoviário pode ser definido como:

Uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança (BERNUCCI *et al.*, 2008, p. 9).

Um pavimento pode ser classificado em três tipos: Pavimento Flexível, Pavimento Rígido e Pavimento Semirrígido. Para este trabalho o estudo é direcionado ao pavimento flexível.

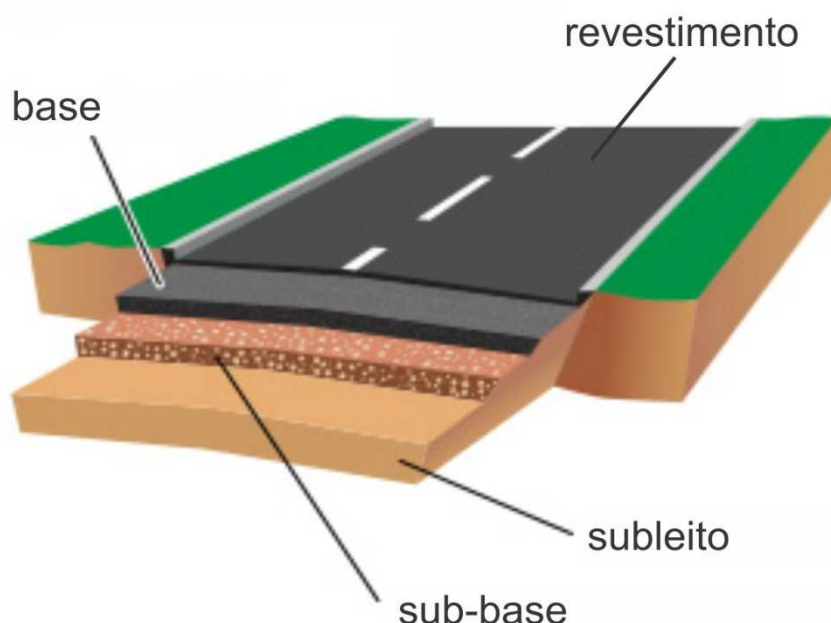
O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) assevera que para que se tenha segurança nas rodovias o pavimento deve suportar os efeitos das mudanças de clima, não causar desgaste excessivo dos pneus e nível alto de ruídos, ter estrutura forte, resistir ao fluxo de veículos, e ter boa resistência a derrapagens (BRASIL, 2010).

Para atender a esses requisitos, o DNIT aponta ainda que a estrutura do pavimento é particularmente importante, devendo ser constituída por camadas que distribuam as solicitações de carga, limitando as tensões e as deformações de maneira a garantir um desempenho adequado da via, por um longo período de tempo (BRASIL, 2010).

Pavimento Flexível

Um pavimento flexível é constituído em geral por uma camada de revestimento, apoiada sobre camadas de base, de sub-base e de subleito, constituídas por materiais granulares, solos ou misturas de solos. Estas camadas estão ilustradas pela Figura 1.

Figura 1 - Seção transversal de um pavimento flexível



Fonte: Adaptado de Arip Susanto Official Website (2016)

Revestimento: é destinado a resistir às ações do tráfego, impermeabilizar o pavimento e melhorar as condições de rolamento, quanto à comodidade e à segurança do usuário.

Base: é a camada que possui a finalidade de resistir às ações dos veículos, de maneira a aliviar as tensões no revestimento e a distribuí-las para as camadas inferiores.

Sub-base: é a camada corretiva do subleito, ou complementar à base, quando, por qualquer circunstância, não seja aconselhável construir o pavimento diretamente sobre o leito obtido pela terraplenagem.

Subleito: Terreno da fundação do pavimento ou o terreno original. Pode ocorrer a necessidade de esta camada necessitar de uma camada de reforço, sendo ela estabilizada granulometricamente, executada sobre o subleito devidamente compactado e regularizado, utilizada quando se torna necessário reduzir espessuras elevadas da camada de sub-base, originadas pela baixa capacidade de suporte do subleito.

2.2 Deterioração de Pavimentos Rodoviários

A deterioração de estruturas de pavimentos rodoviários segundo Sachet (2007) ocorre gradualmente através do desgaste dos componentes físicos, ocasionando a queda da serventia

ao longo do tempo. Este processo é acionado pela ação repetida das cargas de serviço, intempéries climáticas, e pelas alterações físicas e químicas naturais dos materiais.

O DNIT indica que é essencial que entender os mecanismos que regem o processo de deterioração de um pavimento para a identificação das causas que o levaram a sua condição atual, levando a escolha e programação da técnica mais adequada para sua restauração (BRASIL, 2006).

De acordo com Rodrigues (2003) as velocidades de deterioração nos pavimentos tendem a ser maior que nas demais estruturas, em vista de sua grande exposição aos agentes climáticos e ao seu modo de utilização pelas cargas do tráfego. Portanto, não é suficiente construir-se um pavimento de forma adequada e ignorar as consequências econômicas e funcionais de seu desempenho a médio e longo prazo. Nesse sentido, é fundamental, que a manutenção do pavimento seja feita no momento certo e utilizando técnicas adequadas. O autor destaca um aspecto importante nesse processo, que enfatiza o nível crítico ultrapassado de extensão e severidade originado pela degradação, no qual gera perda econômica na medida em que a reconstrução torna-se a única medida factível.

Para Sachet (2007) a manutenção de um pavimento compreende todas as intervenções que afetam direta ou indiretamente, o nível de serventia atual e/ou o desempenho futuro do pavimento. Os objetos de manutenção podem ser a restituição de características funcionais ou a proteção de componentes e caráter preventivo visando estender a sua vida de serviço.

A conservação segundo o DNIT pode ser definida como sendo um conjunto de serviços destinados à preservação do pavimento nas condições em que ele foi originalmente construído ou no estado em que foi posteriormente restaurado (BRASIL, 2006). A conservação pode ser separada em três tipos:

Conservação Corretiva Rotineira: “é o conjunto de operações de conservação que tem como objetivo reparar ou sanar um defeito e restabelecer o funcionamento dos componentes da Rodovia, proporcionando conforto e segurança aos usuários” (BRASIL, 2006);

Conservação Preventiva Periódica: “é o conjunto de operações de conservação realizadas periodicamente com o objetivo de evitar o surgimento ou agravamento de defeitos. Trata-se de tarefas requeridas durante o ano mas cuja frequência de execução depende do tráfego, da topografia e de efeitos climáticos” (BRASIL, 2006);

Conservação de Emergência: “é o conjunto de operações a serem eventualmente realizadas com o objetivo de recompor, reconstruir ou restaurar trechos que tenham sido seccionados, obstruídos ou danificados por um evento extraordinário ou catastrófico, colocando em flagrante risco o desenvolvimento do tráfego da rodovia ou ocasionando a sua interrupção” (BRASIL, 2006).

2.3 Patologias em um Pavimento

O conhecimento dos vários defeitos que podem ocorrer em um pavimento é necessário para o entendimento do problema em questão e consequentemente se obter a forma mais adequada para recuperar o mesmo. Os conceitos e terminologias sobre os defeitos em um pavimento flexível são descritos pela norma DNIT 005/2003 – TER. Os 3 principais problemas que ocorrem em um pavimento flexível são os de trincamento, deformação permanente, e desagregação.

2.3.1 Trincamento

As trincas (Figura 2) podem propagar-se tanto no sentido transversal, como no sentido longitudinal. São provocadas por carregamentos cíclicos do tráfego, por reflexão, gradiente de temperatura e oxidação do material asfáltico com o passar do tempo. O pior estado de trincamento é caracterizado como Couro de Jacaré, onde as trincas propagam-se em todas as direções interligadas entre si.

Figura 2- Trincas em um pavimento flexível



Fonte: Bernucci *et al.* (2008)

Trincas por Fadiga: Resultam dos efeitos cumulativos de carregamentos sucessivos, onde o pavimento sofre ações repetidas de esforços de tração por flexão.

Trincas por Envelhecimento: Com o passar do tempo, o ligante betuminoso perde suas propriedades mecânicas e viscoelásticas devido à oxidação dos hidrocarbonetos em sua composição. Isto faz com que o asfalto torne-se quebradiço e susceptível a rompimentos. O DNIT afirma que o processo de endurecimento do asfalto depende do tipo e qualidade do ligante, das condições climáticas e do projeto da camada de revestimento (BRASIL, 2006).

Trincas por Reflexão: Estes tipos de trincas são provenientes da reflexão de trincas de camadas inferiores que se propagam em direção à superfície, atingindo o revestimento asfáltico. Isto faz com que a vida de fadiga do revestimento seja extremamente reduzida (BRASIL, 2006).

Trincas por Gradiente Térmico: Ocorrem devido às mudanças de temperatura no decorrer do dia, implicando em esforços de tração e compressão no pavimento. Este gradiente térmico combinado com a perda da propriedade viscoelástica do ligante betuminoso provocam trincas longitudinais e transversais no revestimento (BRASIL, 2006).

2.3.2 Deformações Permanentes

As deformações permanentes (Figura 3) podem ser observadas como trilhas de rodas, deformações plásticas no revestimento e depressões. Provocam irregularidade longitudinal na camada de rolamento, gerando assim, baixa qualidade de rolamento, aumento no custo operacional dos veículos, e represamento de água no pavimento.

Figura 3 – Deformação permanente em um pavimento flexível



Fonte: Bernucci *et al.* (2008)

As deformações permanentes podem ser provocadas pelo excesso de carga do tráfego, excesso de ligante na composição do Concreto Asfáltico (CA) e rompimento de camadas inferiores de suporte. O Quadro 1 faz um resumo das causas e tipos de deformações permanentes.

Quadro 1 - Resumo das causas e tipos de deformação permanente

| Causa Geral | Causa específica | Exemplo de defeito |
|---|--|--|
| Associada com o carregamento | Carregamento concentrado ou em excesso | Fluência plástica (ruptura por cisalhamento) |
| | Carregamento de longa duração ou estático | Deformações ao longo do tempo (creep) |
| | Grande número de repetições de carga | Afundamento nas trilhas de roda |
| Não associada com o carregamento | Subleito constituído de solo expansivo | Inchamento ou empolamento |
| | Solos compressíveis na fundação do pavimento | Recalque diferencial |

Fonte: Brasil (2006)

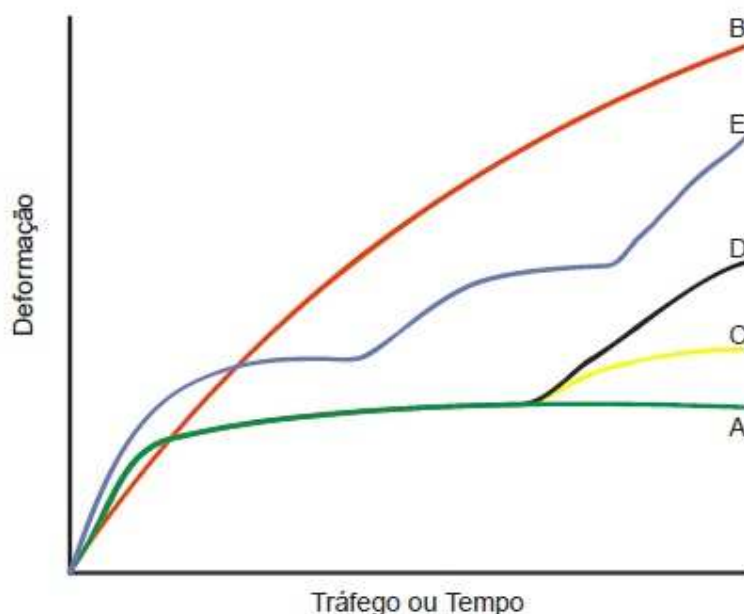
A densificação e a fluência plástica são dois mecanismos associados às deformações que são causados pela ação do tráfego. Na densificação ocorre uma diminuição de volume no material, implicando numa maior aproximação ou eventual restauração das partículas constituintes do material. Usualmente é controlada pela compactação adequada no momento

da construção do pavimento. Quanto mais compactado estiver um material, maior será sua resistência ao cisalhamento e menor será sua susceptibilidade ao ingresso da água (BRASIL, 2006).

Para a fluência plástica, o DNIT indica que este mecanismo pressupõe a constância de volume e promove movimentos cisalhantes geradores de depressões e solevamento. Isso ocorre quando os esforços induzidos pelo carregamento excedem a resistência ao cisalhamento dos materiais ou são suficientes para induzir ao recalque. Pode ser controlada na fase de projeto pela seleção de materiais, de acordo com sua resistência ao cisalhamento (BRASIL, 2006).

O DNIT apresenta curvas típicas de deformação (Figura 4). A curva A representa um pavimento adequado em termos de espessuras e tipos de materiais utilizados. Observa-se que a deformação ocorre principalmente devido a densificação. Quando um pavimento não é adequado em termos de espessuras ou qualidade dos materiais, a deformação tende a apresentar o comportamento representado pela curva B, em que a fluência plástica domina. Esta curva poderia ser típica de um pavimento subdimensionado ou da utilização de asfaltos de baixa viscosidade em camada asfáltica muito espessa (BRASIL, 2006).

Figura 4 – Tipos de curvas de afundamento nas trilhas de roda considerando os efeitos de umidade e conservação



Fonte: Brasil (2006)

O DNIT chama a atenção que quando aparecem as trincas e a água ingressa em um pavimento do tipo A, sem a conservação adequada, verifica-se que a velocidade com que a

deformação cresce tende a apresentar um comportamento similar ao da curva C ou D. Pavimentos com problemas sazonais de temperatura e umidade podem apresentar curvas de deformação semelhantes ao tipo E (BRASIL, 2006).

2.3.3 Desagregação

A desagregação ocorre devido à fratura mecânica do filme do ligante ou pela perda de adesão entre o ligante e o agregado gerando superfícies irregulares no pavimento. Um exemplo para este tipo de patologia são os buracos/panelas (Figura 5).

Figura 5 – Desagregação em um pavimento flexível



Fonte: Bernucci *et al.* (2008)

A fratura mecânica do filme de ligante que envolve o agregado pode ocorrer pelo fato do mesmo ser muito fino e acabar recebendo cargas excedentes ao suportado, ou quando o ligante torna-se muito endurecido. Este endurecimento ocorre devido ao aquecimento exagerado na usinagem ou a oxidação durante longa exposição às temperaturas ambientais (BRASIL, 2006). A perda de adesão entre o filme de ligante e a partícula de agregado também é um fator que gera desagregação do revestimento, sendo ocasionado geralmente pela presença de água ou pela contaminação do agregado, como por exemplo a presença de pó na superfície do agregado que acaba evitando que o filme de ligante desenvolva uma ligação plena com o agregado.

2.4 Processo de Restauração

Após o conhecimento dos tipos de patologias que podem ocorrer em um pavimento asfáltico, busca-se o processo de restauração mais adequado para o tipo de problema em questão. A definição de restauração segundo o Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (DER/SP, 2006) pode ser descrita como sendo o processo que contempla o conjunto de serviços necessários para restaurar a condição da capacidade estrutural do pavimento e a qualidade de rolamento da rodovia, por meio da execução de atividades de reabilitação e, também, se necessário, de reconstrução do pavimento existente em um mesmo projeto. O DNIT afirma que sempre existirá uma solução mais adequada para cada tipo de problema que ocorra em um pavimento asfáltico, e embora a seleção da solução adequada seja um problema complexo de engenharia, o processo analítico é facilitado pela utilização de um enfoque lógico e sequencial (BRASIL, 2006), cujos fundamentos são baseados na necessidade de:

- a) Determinar as causas dos defeitos dos pavimentos;
- b) Desenvolver uma lista de soluções possíveis que apropriadamente atendam o problema;
- c) Selecionar a medida de restauração adequada, dada às restrições econômicas ou outras de projeto.

Conforme Rodrigues (2003), os objetivos específicos a serem atingidos quando se projeta a restauração de um pavimento são os seguintes:

- a) Trazer a condição funcional (conforto ao rolamento e segurança) a níveis compatíveis com a de um pavimento novo;
- b) Garantir uma vida de serviço mínima para o pavimento restaurado, de modo que uma nova intervenção desse mesmo porte seja requerida apenas após este período;
- c) Utilizar técnicas disponíveis e aplicáveis, e que atendam a requisitos operacionais e às restrições orçamentárias;
- d) Controlar mecanismos pelos quais a deterioração das estruturas de pavimento ocorre ao longo do tempo.

Quando o pavimento não está mais em condições de se restaurar, deve-se reconstruí-lo, implicando na remoção total do pavimento existente. Esta alternativa é utilizada segundo Sachet (2007) quando:

- a) Os custos de uma restauração superam o da reconstrução do pavimento;
- b) Não há confiabilidade suficientemente aceitável para o desempenho do pavimento restaurado;
- c) O pavimento deve ser reconstruído e haverá também uma mudança de traçado na rodovia, motivada, por exemplo, pela necessidade de uma elevação de padrão operacional.

O DNIT estabelece que para a escolha da forma de restauração mais adequada, devem-se seguir as etapas dentro de quatro fases indicadas pela Figura 6:

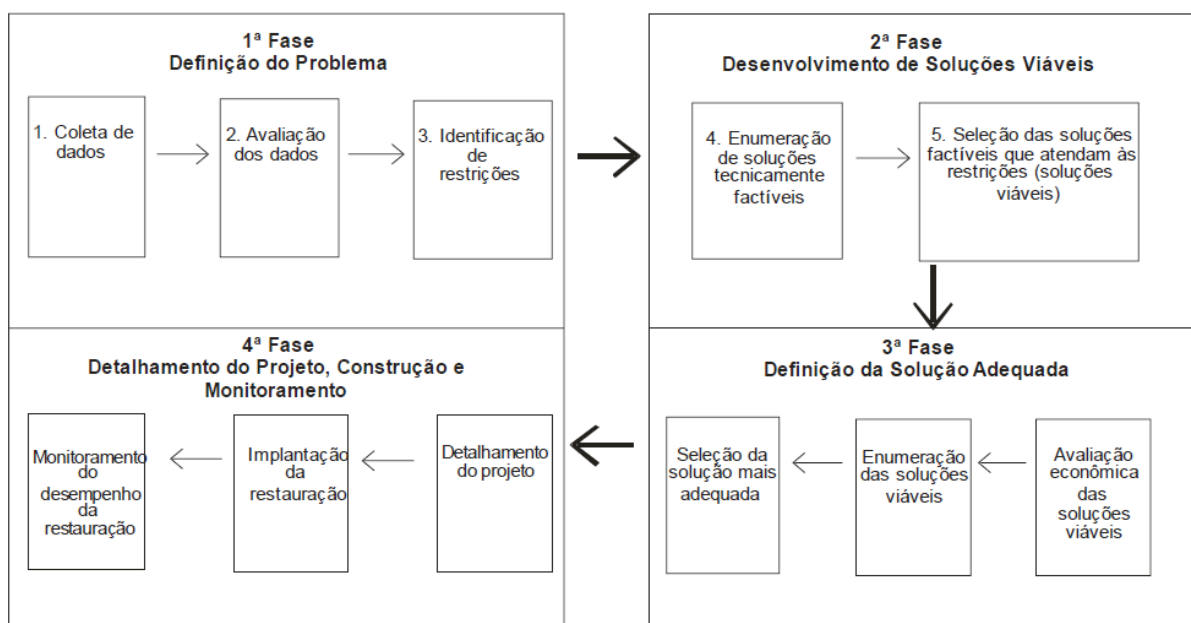
(1ª Fase) Definição do Problema

(2ª Fase) Desenvolvimento de Soluções Viáveis

(3ª Fase) Definição da Solução Adequada

(4ª Fase) Detalhamento do Projeto, Construção e Monitoramento

Figura 6 – Etapas do processo de restauração



Fonte: Brasil (2006)

Na 1ª fase, para a escolha mais adequada do processo de restauração, deve-se primeiramente definir o problema. Isto se faz através da coleta de dados, com a avaliação desses dados e a identificação de restrições que possam ocorrer no processo de restauração.

A primeira etapa consiste na coleta de dados, que deve conter informações do tipo: condição do pavimento (pista e acostamento), estrutura do pavimento, características

geométricas da rodovia, propriedades dos solos e dos materiais de construção, solicitação do tráfego (volumes e carregamento), condição climática, de drenagem e de segurança;

A segunda etapa é realizada através da avaliação dos dados obtidos e deve-se obter informação adequada para minuciosamente definir o problema. Uma avaliação geral dos dados coletados determinará as causas e a extensão da deterioração. O DNIT afirma que não se deve subestimar este aspecto, pois o sucesso da restauração do pavimento depende muito mais das condições existente do que da construção propriamente dita. Para que se possam entender as origens da deterioração do pavimento, é necessário o conhecimento das causas prováveis e dos mecanismos de ocorrência e de progressão dos defeitos (BRASIL, 2006).

Na terceira etapa é dada a atenção para as restrições que possam aparecer no processo de restauração. O DNIT afirma que as restrições existentes em um projeto de restauração devem ser identificadas durante a fase de definição do problema, visto que eles frequentemente afetam a escolha da alternativa de restauração (BRASIL, 2006). Alguns itens que podem restringir a seleção das alternativas são: recursos financeiros limitados, dificuldades de controle de tráfego, vida útil de projeto, problemas na geometria da rodovia, gabarito mínimo nas obras-de-arte especiais, materiais e equipamentos disponíveis, mão-de-obra e especialização do empreiteiro e o programa do órgão rodoviário para a rede.

Após essas 3 etapas de definições dos problemas, inicia-se a 2ª fase, onde se busca o desenvolvimento de soluções viáveis para a restauração do pavimento. O DNIT afirma que primeiramente é feito a enumeração das soluções que são tecnicamente factíveis na resolução do problema de deterioração dos pavimentos (BRASIL, 2006). Devem ser examinadas diversas soluções possíveis que atendam as causas da deterioração, e que sejam eficientes no reparo dos defeitos existentes e, tanto quanto possível, na prevenção do reaparecimento dos defeitos. Depois de todas as alternativas viáveis terem sido selecionadas, devem ser desenvolvidos estudos de pré-dimensionamento. A partir das espessuras aproximadas de recapeamento ou de quantitativos de serviços, podem ser feitas estimativas de custo.

Após o conhecimento das possíveis soluções, inicia-se a 3ª fase, onde se busca definir a solução mais adequada para o problema em questão. Não há método seguro ou exato para a seleção da alternativa mais adequada de restauração para um determinado projeto. O processo de seleção requer julgamentos importantes de engenharia, criatividade e flexibilidade. Esta fase é constituída de duas etapas, avaliação econômica e seleção da alternativa mais adequada.

O DNIT aponta que a avaliação econômica é considerada como o critério mais importante de decisão quando da escolha da solução mais adequada entre várias alternativas de

restauração. São necessárias informações sobre custos ao longo do ciclo de vida do pavimento. Muitos fatores não monetários devem ser considerados na determinação da medida adequada de restauração. Alguns desses fatores são: vida de serviço, duração da construção, problemas de controle de tráfego, confiabilidade, facilidade de construção ou conservação (BRASIL, 2006).

A seleção da alternativa mais adequada deverá ser selecionada utilizando-se primeiramente fatores monetários e, posteriormente, os não monetários. O DNIT sugere que se a avaliação econômica não indicar uma vantagem clara por uma das alternativas exequíveis, os fatores não monetários podem ser utilizados para auxiliar no processo de seleção (BRASIL, 2006).

Na 4ª e última fase, uma vez que o método de restauração tenha sido selecionado, planos detalhados de projeto, especificações e orçamentos são preparados.

2.5 Reciclagem de Pavimentos

A reciclagem de pavimentos pode ser definida como sendo:

A reutilização total ou parcial dos materiais existentes no revestimento e/ou da base e/ou da sub-base, em que os materiais são remisturados no estado em que se encontram após a desagregação ou tratados por energia térmica e/ou aditivados com ligantes novos ou rejuvenescedores, com ou sem recomposição granulométrica (MOMM; DOMINGUES, 1995 apud COSTA; PINTO, 2011).

Este processo ameniza grande parte dos problemas ambientais em relação à utilização convencional de materiais virgens. Para Costa e Pinto (2011) dentre as várias vantagens de se reciclar um pavimento, pode-se destacar:

- a) A diminuição de problemas com a destinação final dos materiais em locais inadequados e bota foras;
- b) Promove-se a conservação de agregados, de ligantes e de energia, ou seja, a reutilização dos agregados do pavimento degradado propicia uma redução na demanda de novos materiais e das respectivas distâncias de transporte, prolongando o tempo de exploração das ocorrências existentes, além disso, o ligante remanescente pode ter suas propriedades restabelecidas pela adição de asfalto novo ou agente rejuvenescedor.

O consumo de energia também pode ser favorecido através de sua redução durante a usinagem da mistura;

- c) Promove-se a conservação das condições geométricas existentes, ou seja, a adoção das técnicas de reciclagem permite que as condições geométricas da pista sejam mantidas ou modificadas facilmente.

Bonfim (2007) apresenta em seu trabalho sobre fresagem de pavimentos asfálticos, uma classificação bem definida dos tipos de reciclagem, apresentada no Quadro 2. A associação de reciclagem asfáltica dos Estados Unidos (*Asphalt Recycling and Reclaiming Association* – ARRA, 2009) define cinco categorias principais para os diferentes métodos de reciclagem: Reciclagem a frio (*Cold recycling*); Reciclagem a quente (*Hot recycling*); Reciclagem a quente *in situ* (*Hot in-place recycling*); Reciclagem a frio *in situ* (*Cold in-place recycling*); Reciclagem profunda (*Full depth reclamation*).

Quadro 2– Classificação dos processos de reciclagem de pavimentos

| | | |
|----------------------------------|------------------------|--|
| Quanto à geometria original | Sem modificação | Quando se mantém as cotas do greide |
| | Com modificação | Quando não se mantém as cotas do greide |
| Quanto ao local de processamento | Em usina | Fixa ou móvel, quente ou frio |
| | <i>In situ</i> | |
| | Mista | <i>In situ</i> da reciclagem da base e aplicação de reciclagem a quente processada em usina com material fresado |
| Quanto à fresagem do material | A frio | Realizada na temperatura ambiente |
| | A quente | Realizada com pré-aquecimento do pavimento |
| Quanto à profundidade de corte | Superficial | Somente da camada de revestimento |
| | Profunda | Camada de revestimento, base e até sub-base |
| Quanto à mistura reciclada | Mistura a quente | PMF |
| | Mistura a frio | CBUQ, PMQ |
| Quanto ao uso da mistura | Como base reciclada | |
| | Como camada de ligação | |
| | Como revestimento | |
| Quanto aos materiais adicionado | Agregados | Correção granulométrica |
| | Cimento Portland e Cal | Aumento da capacidade estrutural |
| | Emulsão especial e CAP | Rejuvenescimento |
| | Misturas asfálticas | Adição de material fresado |

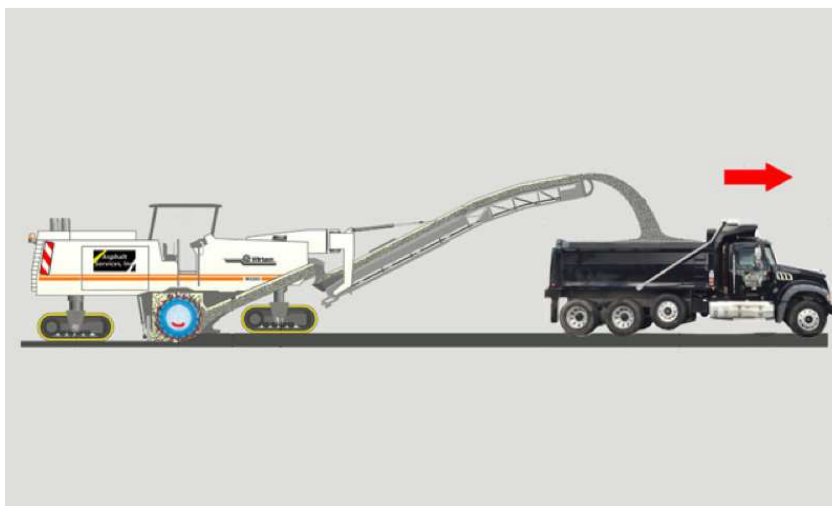
Fonte: Bonfim (2007)

2.5.1 Reciclagem a frio

A reciclagem a frio é um método que permite a reconstrução de pavimentos flexíveis que apresentam falhas ou estejam em estado de degradação. Estas falhas podem ser: trincas transversais, panelas, trilhas de roda, irregularidades na superfície ou a combinação de todos esses defeitos. O processo também possibilita que a camada seja removida a uma profundidade desejada, utilizando para isso a técnica de fresagem (Figura 7), permitindo que a

restauração do pavimento seja feita através de uma nova camada de revestimento, e também que se façam correções no greide da pista, inclinações, ondulações e deformações na camada de revestimento.

Figura 7 – Processo de fresagem



Fonte: Asphalt Services, Inc. (2016)

De acordo com o manual da Wirtgen (2004), o método de reciclagem a frio na usina, é feito com o material recuperado da rodovia existente e o mesmo é transportado até um depósito central, onde é alimentado através de uma unidade de processamento ou *in situ* utilizando uma máquina de reciclagem. A reciclagem na usina é indicada quando o processo inclui uma mistura de materiais reciclados e virgens, os quais necessitam de algum tipo de tratamento.

Para Sachet (2007) o processamento na planta geralmente é a opção mais cara em termos de custo por metro cúbico (m^3) do material processado, principalmente devido aos custos de transporte que não existem na reciclagem *in situ*. Porém, ambos os métodos de reciclagem, tem seu espaço no mercado da construção e a decisão sobre qual deve ser utilizado é dada pelo:

a) Tipo de construção:

O processamento na planta geralmente é considerado quando o material reciclado é utilizado na construção de uma nova camada de pavimento, para aumentar a capacidade estrutural do pavimento existente.

b) Material local de um pavimento que deve ser reciclado:

Quando se recicla a camada superior do pavimento, deve-se fazer uma seleção ou pré-tratamento do material, devido à variedade e a condição do material reciclado.

2.5.2 Reciclagem a frio *in situ*

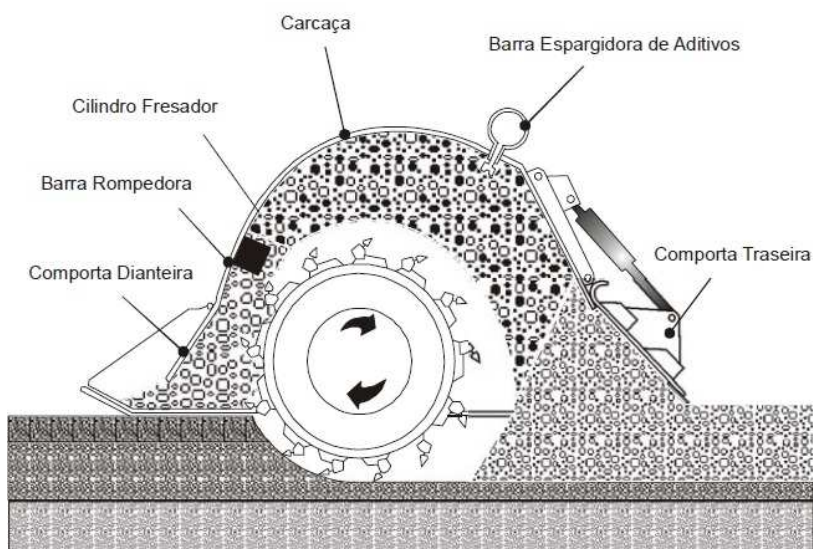
Segundo Sachet (2007) a reciclagem a frio *in situ* permite a recuperação do revestimento existente utilizando, normalmente, emulsão asfáltica à temperatura ambiente, para produzir uma nova camada asfáltica que integra características semelhantes a uma nova mistura de pré-misturado a frio (PMF). Para isso é realizada, primeiramente, a fresagem do revestimento asfáltico com profundidade previamente determinada. Em seguida, é adicionada a emulsão asfáltica, espalhando-a e compactando-a com equipamentos adequados (trens de reciclagem).

Wirtgen (2004), destaca que esta técnica elimina a necessidade de aquecimento da mistura e diminui significativamente o custo com o transporte de material, uma vez que somente o agente reciclador será transportado. Geralmente, emulsão asfáltica é adicionada como um agente reciclador. A emulsão é proporcional ao peso de Revestimento Asfáltico Recuperado (RAR). Cinzas, cimento ou cal virgem também podem ser adicionados. Estes aditivos são eficazes para revestimentos asfálticos e misturas de baixa estabilidade.

O processo inclui pulverizar o pavimento existente, classificar o RAR conforme a sua granulometria, aplicar o agente rejuvenescedor, espalhar a mistura e compactar. O uso dos trens de reciclagem inclui um pulverizador, peneira, triturador e unidades de mistura.

Existe tecnologia avançada para os equipamentos de reciclagem a frio *in situ*. As fresadoras modificadas ou especialmente projetadas para esse fim estão disponíveis para processar o material removido aplica-lo numa única passada. Como pode ser observado na Figura 8. Isso inclui o corte até o greide, fragmentação, adição, mistura de aditivos e aplicação.

Figura 8 – Dispositivo de reciclagem a frio no local.

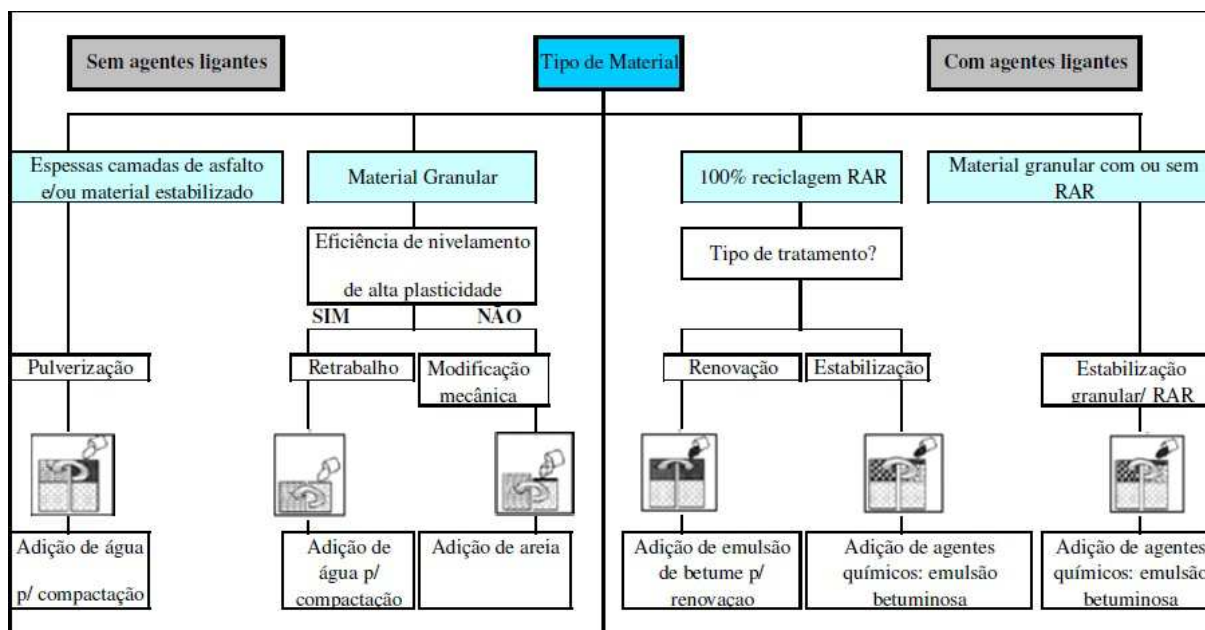


Fonte: Brasil (2006)

O DNIT relata que conforme a máquina se movimentada para frente com o rolo girando, a água de um tanque acoplado a recicladora é distribuída através de uma mangueira flexível e pulverizada na câmara misturadora da recicladora. O índice de distribuição é medido com precisão por um sistema de bombeamento controlado por microprocessador e o rolo giratório mistura a água com o material reciclado para alcançar o teor de umidade necessário para conseguir altos níveis de compactação (BRASIL, 2006).

A reciclagem a frio é um processo multifacetado que pode satisfazer as várias necessidades de manutenção e recuperação da infraestrutura de rodovias. Para Wirtgen (2004), duas categorias de reciclagem a frio podem ser identificadas quanto ao tratamento ou não com um agente ligante. Além disso, como um meio secundário, podem ser classificadas pelo tipo de tratamento que o material reciclado recebe. Este sistema de classificação primária e secundária é ilustrado na Figura 9.

Figura 9 – Tipos de reciclagem a frio



Fonte: Wirtgen (2004)

O que condiciona a escolha do tipo de reciclagem a ser usada são os tipos de defeitos, a extensão e a severidade dos mesmos. De acordo com Wirtgen (2004) a reciclagem de material 100 % RAR com asfalto misturado a frio, exige a introdução de betume adicional na forma de uma emulsão. Este é essencialmente um processo de renovação. Contudo, adicionar ligante a uma mistura de asfalto existente sem comprometer as propriedades volumétricas do material reciclado exige uma abordagem cautelosa do projeto. A compressão da camada reciclada será diferente daquela do asfalto original e, além disso, os finos normalmente estão ligados dentro do material reciclado. Isto significa que é necessário acrescentar finos adicionais durante a reciclagem.

Wirtgen (2004) indica que normalmente é necessário um revestimento eficiente na parte superior da camada reciclada para obter propriedades funcionais, tais como resistência à derrapagem e conforto ao rolamento. Para rodovias com tráfego leve, isto pode tomar a forma de uma vedação com lamas asfálticas ou de um micro revestimento (< 40 mm) de mistura asfáltica a quente. No local onde o pavimento estiver sendo remodelado para suportar tráfego pesado, normalmente, é necessária uma camada de base asfáltica, além do revestimento asfáltico.

Sachet (2007) afirma que a estabilização granular é comumente executada como um meio de tratar estruturas de pavimentos deteriorados com bases granulares e revestimentos

relativamente pouco espessos, que normalmente são compostos de asfalto. O desgaste de tais pavimentos geralmente se manifesta na forma de camadas asfálticas seriamente trincadas, camadas granulares deformadas e painéis na pista. O objetivo de adicionar agentes estabilizadores enquanto se recicla é restaurar a integridade estrutural, melhorando as propriedades mecânicas dos materiais recuperados e, simultaneamente, alcançar o conforto ao rolamento necessário.

Wirtgen (2004) afirma que a estabilização granular/RAR pode ser executada pela reciclagem em várias profundidades, normalmente entre 150 mm e 250 mm. Necessitando o aumento da capacidade estrutural para atender a demanda de tráfego adicional, e podendo aumentar a profundidade da reciclagem alcançando-se assim um aumento na espessura da nova camada estabilizada. Contudo, para se utilizar esta opção, é necessário ter profundidade suficiente de material natural de boa qualidade. Pavimentos deteriorados que incluem camadas previamente estabilizadas (por exemplo, com cal hidratada ou cimento), também podem ser reciclados.

Quando da existência de camadas espessas de asfalto não se faz necessária adição de agentes estabilizadores. Camadas ligadas que sofreram desgaste normalmente exibem trincas em blocos, que iniciam com um espaçamento amplo e se tornam cada vez mais espaçadas com o tempo. Pulverizar estes materiais elimina o potencial para reflexão de trincas (WIRTGEN, 2004).

Para (PEREIRA *et al.*, 2005 apud SACHET, 2007), a reciclagem é uma alternativa interessante a partir do momento que utiliza parte ou a totalidade das camadas betuminosas existentes para produzir um novo material. O guia elaborado por Wirtgen (2004) inclui entre eles, os seguintes benefícios:

1. Fatores ambientais. O material do pavimento existente é totalmente utilizado. O volume de material novo que necessita ser transportado das pedreiras é reduzido;
2. Qualidade da camada reciclada;
3. Integridade estrutural. O processo de reciclagem a frio produz camadas espessas ligadas, que são homogêneas e não contêm interfaces fracas entre camadas de pavimento mais finas;
4. A interferência na fundação é minimizada, quando comparada à recuperação de pavimentos com equipamentos de construção convencionais;

5. Menor tempo de construção. As recicladoras possuem altos índices de produtividade, o que reduz significativamente o tempo de construção quando comparado a métodos de recuperação alternativos. Um menor tempo de construção reduz os custos do projeto e o tempo em que o tráfego é interrompido;

6. Segurança. O trem de reciclagem (completo) pode ser acomodado dentro da largura de uma pista de tráfego;

7. Custo-benefício. Todos os benefícios acima fazem da reciclagem a frio um processo mais atraente para a recuperação de pavimentos em termos de custo-benefício. Quando a recuperação de pavimentos rodoviários degradados é avaliada, os métodos de reparo mais econômicos tendem a serem específicos do projeto. Cada projeto é exclusivo em termos da estrutura do pavimento existente, e da qualidade dos materiais que compõem as camadas do pavimento. Segundo Wirtgen (2004) é importante utilizar a solução mais apropriada e prática para cada projeto, considerando os seguintes fatores importantes:

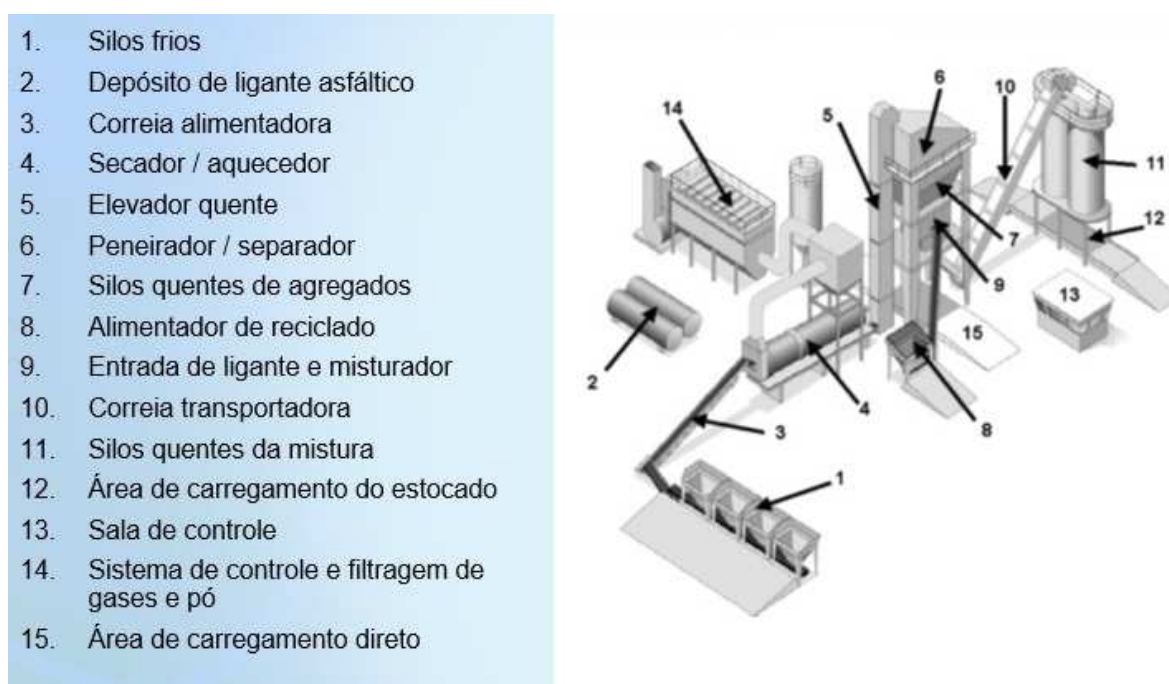
- a) Localidade. Se o projeto é uma via urbana com elevado tráfego onde somente o trabalho noturno será permitido, ou uma rodovia rural não revestida, com baixo volume de tráfego, que necessita de melhorias.
- b) Ambiente físico. Deve-se considerar a topografia e a geologia ao se determinar o método mais apropriado de recuperação. O clima desempenha um papel vital na escolha, e serão necessárias soluções para regiões desérticas com pouca precipitação que sejam diferentes daquelas que são apropriadas para áreas com muita chuva. O efeito de temperaturas extremas, como trincamento térmico induzido por ciclos de gelo-degelo, também tende a influenciar a alternativa adotada.
- c) Disponibilidade de materiais. Estes devem estar disponíveis em quantidades suficientes e possuir qualidade consistente e aceitável. Existe sempre mais de uma solução para a recuperação de uma rodovia degradada. A reciclagem profunda é um conceito relativamente novo na engenharia de pavimentação e, devido à economia de custos inerente que é oferecida, sempre deveria ser considerada como uma opção.

2.5.3 Reciclagem a quente

A reciclagem a quente é um método onde se combina RAR, com agregado novo e cimento asfáltico ou agente reciclador para produzir mistura asfáltica a quente.

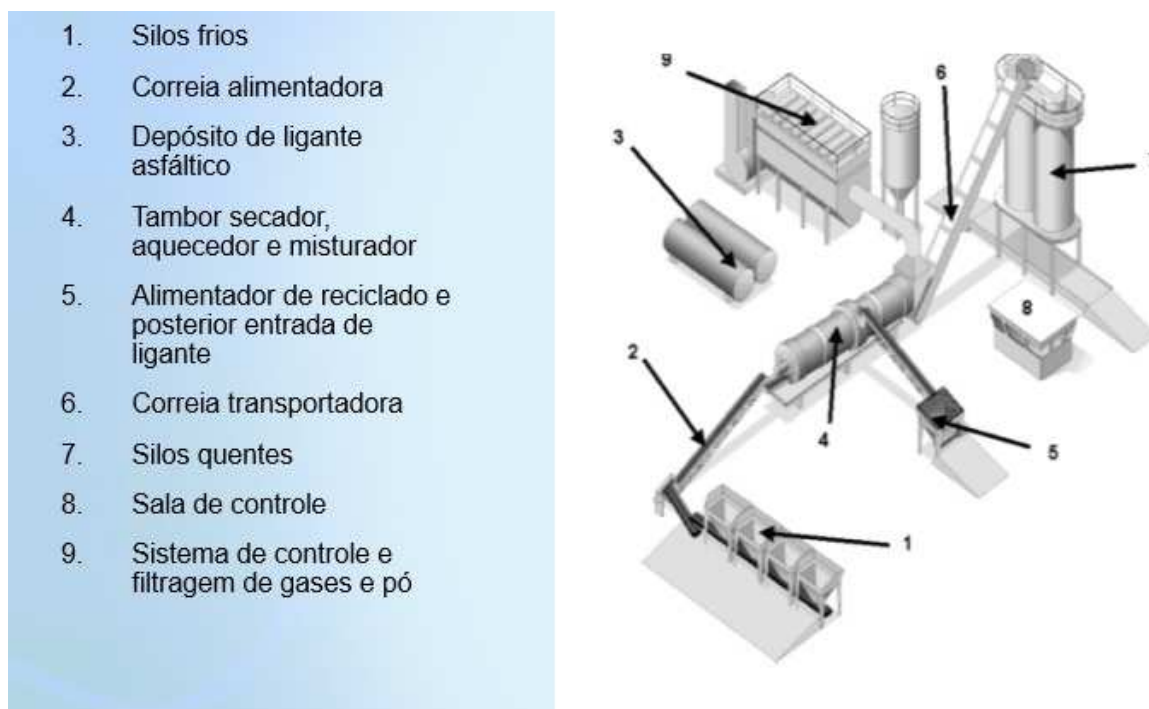
Neste método segundo a *Federal Highway Administration* (FHWA, 1997) a remoção do pavimento asfáltico ocorre com o auxílio de uma fresadora ou outro equipamento capaz de arrancar a camada de revestimento, total ou parcialmente, a uma profundidade previamente estabelecida que, logo após, é transportada para o local de estocagem para que seja reciclada em usina. Dois tipos de usinas de asfalto podem ser utilizadas para a produzir a mistura reciclada do asfalto removido. Sendo elas do tipo gravimétricas ou Drum Mixer (Figura 10 e Figura 11).

Figura 10 – Usina gravimétrica por batelada



Fonte: Bernucci *et al.* (2008)

Figura 11 – Drum mixer



Fonte: Bernucci *et al.* (2008)

A recomendação da (FHWA, 1997), salienta que o tipo e o grau de deterioração do revestimento existente no pavimento a ser trabalhado definirá se a técnica de remoção da camada de revestimento será parcial ou total. O desmonte e remoção da totalidade de uma camada do pavimento poderão ser realizados empregando os equipamentos tradicionais de obras de pavimentação tais como, tratores, escavadeiras, carregadeiras e estações de britagem móveis ou fixas, ou ainda máquinas fresadoras.

Para Sachet (2007) a reciclagem de pavimentos constituídos com revestimentos asfálticos a quente resulta numa considerável conservação de energia por reduzir custos de transporte e produção de novos materiais. Em relação ao consumo de energia de um método de reciclagem incluem-se as seguintes operações: fabricação de material, transporte de material, produção da mistura, transporte da mistura, espalhamento e compactação da mistura.

2.5.4 Reciclagem a quente *in situ*

A reciclagem a quente *in situ* de misturas asfálticas segundo *Asphalt Recycling and Reclaiming Association* (ARRA, 2015) é um processo simples que consiste na remoção mecânica do revestimento asfáltico através de aquecimento e consequente amolecimento

(fresagem a quente). Este revestimento é, então, misturado com o ligante asfáltico, agregados virgens e agentes rejuvenescedores. E em seguida, a mistura é recolocada sobre o pavimento remanescente.

Para Sachet (2007) a reciclagem *in situ* apresenta um baixo custo nas estratégias de manutenção. Estes processos demonstram que o material asfáltico, que está disponível em grande quantidade, pode ser efetivamente e economicamente recuperado.

“O processo de reciclagem pode ser realizado com a operação de passagem única do equipamento reciclador, que combina o pavimento restaurado com materiais virgens, ou com dupla passagem onde o material reciclado é recompactado, seguido da aplicação de uma nova mistura asfáltica” (ARRA, 2015).

Os processos básicos para a realização da reciclagem a quente *in situ* são:

- a) Escarificação com aquecimento, no qual o pavimento é aquecido, escarificado, rejuvenescido, nivelado, reperfilado e compactado;
- b) Repavimentação, onde se utiliza o mesmo procedimento da escarificação, com adição de uma nova camada de mistura asfáltica de pouca espessura sobre a superfície reciclada;
- c) Remixing, processo similar aos anteriores, porém com um aquecimento mais efetivo permitindo a colocação de revestimento mais espesso e uma melhoria no revestimento velho com correções na granulometria do agregado ou ajustes nas propriedades do ligante.

Kandhal & Mallick (1997 apud Sachet, 2007) sugerem a coleta de amostras na pista de onde será obtido o RAR para determinação prévia de suas características. As recomendações bibliográficas propõem que o RAR produzido numa obra não seja misturado com o RAR proveniente de outra.

No Brasil, as especificações ES 318/97 e ES 319/97 (DNER, 1997) tratam da reciclagem a quente em usina e *in situ* e estabelecem que o RAR pode ser empregado como revestimento, base, regularização e reforço na restauração de pavimentos.

2.5.5 Escolha do Método de Reciclagem x Tipo de Defeito no Pavimento

Para Lima (2003) a escolha do método de reciclagem a ser adotado para a reabilitação de pavimentos, depende dos tipos de defeitos, a extensão e severidade que o mesmo apresenta. Baseados em defeitos de superfície, deformações, trincamentos, correção de afundamentos do tipo trilha-de-roda, problemas nas camadas de base/sub-base, e problemas relacionados à rugosidade da superfície de rolamento. Kandhal & Mallick (1997 apud Lima, 2003) recomendam a Tabela 1 como guia para a escolha da alternativa de reciclagem.

Tabela 1 - Guia para seleção de métodos de reciclagem

| TIPOS DE DEFEITOS NO PAVIMENTO | RECICLAGEM | | | | |
|--|-----------------|-----------------|----------------------------|--------------------------|--|
| | a frio | a quente | a quente <i>in situ</i> | a frio <i>in situ</i> | Rec. rofunda (<i>full depth</i> ¹) |
| Defeitos de superfície | | | | | |
| Desintegração | X | X | X ² | | |
| Exsudação | X | X | X ⁵ | | |
| Escorregamento | X | X | X ² | | |
| Deformação | | | | | |
| Corrugação | X ⁵ | X | X ⁵ | | |
| Afundamento de trilha de roda-superficial ³ | X ⁵ | X | X ⁵ | | |
| Afundamento de trilha de roda-profundo ⁴ | | X | | X ⁶ | X ^{6, 7} |
| Trincas-associada ao carregamento | | | | | |
| Couro de jacaré | | X | | X | X |
| Longitudinal-trilha de roda | | X | X ⁸ | X | X |
| Borda do pavimento | | X | | X | X |
| Trincamento parabólico | | X | X ⁹ | | |
| Trincas-não associadas ao carregamento | | | | | |
| Trincas de bloco | | X | | X | X |
| Trincas longitudinal-juntas | | X | X ¹⁰ | | |
| Transversal (térmica) | | X | | X | X |
| Reflexão de trincas | | X | | X | X |
| Manutenção de remendo | | | | | |
| Spray | | X ¹¹ | | | X |
| Superfície | | X ¹¹ | | | X |
| Panelas-buraco | | X | | | X |
| Profundo (mistura a quente) | | X | | | X |
| Problemas Base/Sub base | | | | | X |
| Qualidade da pista de rolam./Aspereza | | | | | |
| Irregularidades gerais | X | X | X | | |
| Depressões (assentamento) | X ¹² | X ¹² | X ¹² | | X ¹³ |
| Manchas (excessiva) | X ¹² | X ¹² | X ¹² | | X ¹⁴ |

Fonte: Kandhal (1997) apud Lima (2003)

Observações:

- 1) Pavimento no qual a mistura asfáltica é usada para todas as camadas acima do subleito, ou para melhorar a sub-base com agentes modificadores.
- 2) Aplicável se a espessura da superfície do revestimento não exceder 3,8 cm.
- 3) Deformação limitada à parte de cima da estrutura do pavimento 3,8 a 5,0 cm.
- 4) Deformação originada na porção mais baixa do pavimento (abaixo da camada de superfície e incluindo base e sub-base)
- 5) Correção temporária, se a camada afetada não for tratada por adição de mistura asfáltica especial.
- 6) A adição de novos materiais pode ser requerida para misturas instáveis.
- 7) A estabilização química da sub-base pode ser necessária se o solo for mole ou úmido.
- 8) Aplicável se o trincamento for limitado à camada de superfície do pavimento.
- 9) Aplicável se o tratamento for para uma profundidade abaixo da camada onde o trincamento em forma de lua estiver ocorrendo.
- 10) Aplicável se o trincamento for limitado à camada de superfície do pavimento.
- 11) Em algumas ocasiões o *spray* e o remendo de superfície podem ser removidos por fresagem antes deste tratamento (considerando alto teor de asfalto, exsudação).
- 12) Pode ser somente uma correção temporária se o defeito relatado for um problema de sub-base.
- 13) Usado se as depressões são devidas às condições de solo mole ou úmido na sub-base.
- 14) Usado se as manchas são causadas por congelamento excessivo ou inchamento de solos expansivos na sub-base.

2.6 Avaliação Funcional e Estrutural de um Pavimento Reciclado

Como citado anteriormente, para que um pavimento esteja apto a ser utilizado, o mesmo deve apresentar bom desempenho no que se refere a durabilidade, conforto ao usuário e segurança. Ao tratar de desempenho de pavimentos, fazem-se necessárias algumas considerações comparativas entre os seguintes pares de conceitos relativos à pavimentação: (serventia × desempenho) e (resistência × estabilidade).

Segundo Bernucci *et al.* (2008) **serventia** é a qualidade do pavimento, num determinado instante, quanto aos aspectos para os quais foi construído, em relação ao conforto ao rolamento e à segurança” que ele proporciona aos usuários. Os mesmos autores definem

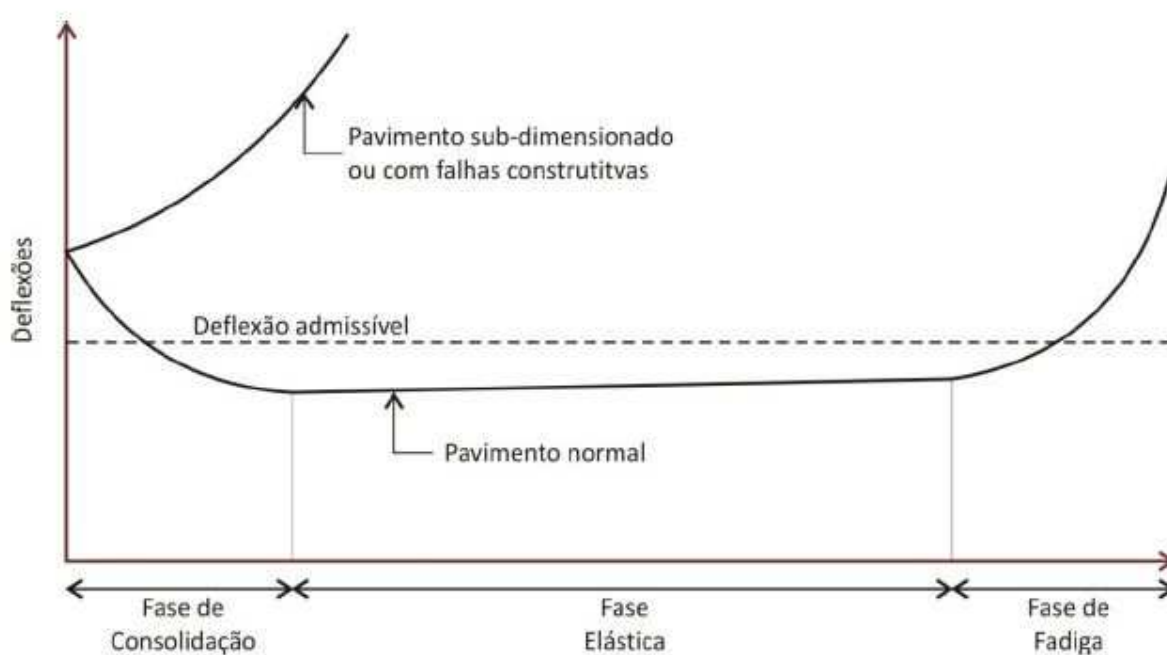
desempenho de um pavimento como a variação da sua serventia ao longo do tempo (ou do tráfego) de uso do pavimento. O valor de serventia atual é uma atribuição numérica compreendida em uma escala de 0 a 5 (correspondendo aos conceitos Péssimo (0-1), Ruim (1-2), Regular (2-3), Bom (3-4) e Excelente (4-5)) definida pela média das notas atribuídas por avaliadores treinados para o conforto ao rolamento de um veículo trafegando em uma determinada extensão da via, num determinado momento da vida útil deste trecho.

O conceito de **resistência** de um pavimento, ou de cada uma de suas camadas, é expresso, objetivamente, segundo Bernucci *et al.* (2008) por uma unidade de força por área ou equivalente, para representar a capacidade de resistência aos defeitos do tráfego, em um dado momento, sendo extrapolado como característica de uma determinada extensão da via.

Bernucci *et al.* (2008) também definem o conceito de **estabilidade** de um pavimento como sendo a variação dessa resistência verificada na estrutura do pavimento ao longo do tempo. O que faz variar esta estabilidade é a resistência da estrutura ou de camadas isoladas do pavimento, ou seja, a variação das condições prevaletentes para resistir ao tráfego e à intempérie (saturação, confinamento, permeabilidade, compactação, granulometria, coesão e etc).

A Figura 12 mostra a relação entre as deflexões com o tempo ou com o tráfego.

Figura 12 - Desempenho de um pavimento



Fonte: Brasil (1979)

Segundo o método DNER PRO 10/79 a evolução das deflexões recuperáveis ao longo da vida de um pavimento ocorre em três fases:

- a) Fase de consolidação - a deflexão decresce devido a consolidação adicional provocada pela ação do tráfego;
- b) Fase elástica – a deflexão permanece com valores praticamente constantes;
- c) Fase de fadiga – caracteriza-se por um acelerado crescimento do valor da deflexão devido a perda de capacidade estrutural das camadas do pavimento.

2.6.1 Avaliação Funcional

Segundo o DER/SP (2006) a avaliação funcional é definida como sendo a determinação da capacidade de desempenho funcional momentâneo, serventia, que o pavimento proporciona ao usuário, ou seja, o conforto em termos de qualidade de rolamento. O desempenho funcional refere-se à capacidade do pavimento de satisfazer sua função principal, que é fornecer superfície com serventia adequada quanto à qualidade de rolamento. Esta avaliação funcional pode ser realizada por meio dos seguintes serviços:

- a) Avaliação de defeitos da superfície por meio de levantamento visual contínuo – LVC;
- b) Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis;
- c) Irregularidade longitudinal de pavimentos;
- d) Cadastro contínuo de reparos superficiais e profundos.

2.6.2 Avaliação Estrutural

O DER/SP (2006) define avaliação estrutural como sendo a determinação da capacidade de desempenho estrutural, que por sua vez é a capacidade do pavimento de manter sua integridade estrutural. A avaliação estrutural de pavimentos consiste na análise das medidas de deslocamentos verticais recuperáveis da superfície do pavimento quando submetido a determinado carregamento. Esta avaliação pode ser realizada por meios dos seguintes serviços:

- a) Avaliação das deflexões recuperáveis com a viga *Benkelman*;
- b) Avaliação das deflexões com o deflectometro de impacto do tipo *Falling Weight Deflectometer* – FWD.

Bernucci *et al.* (2008) afirmam que com esses dois tipos de equipamentos são medidos os seguintes parâmetros:

- a) Deflexão máxima: deslocamento sob o centro da carga (FWD) ou sob o centro das rodas duplas de um eixo simples (viga Benkelman), sendo a deflexão normalmente expressa em 10^{-2} mm (d_0).
- b) Raio de curvatura: círculo ou arco de parábola que passa por dois pontos da deformada (viga Benkelman), normalmente sob a carga e a 25 cm do centro da mesma (d_0 e d_{25}).
- c) Deformada, bacia de deformação ou bacia deflectométrica: medidas dos deslocamentos elásticos ou recuperáveis em vários pontos a partir do centro do carregamento (d_0 , d_{25} , d_{50} etc.).

2.6.3 Caracterização Mecânica das Misturas Asfálticas Recicladas

A caracterização mecânica das misturas asfálticas recicladas é obtida em laboratório e é necessária para se obter resultados do desempenho mecânico do mesmo e assim compará-la com as especificações que são exigidas pelo órgão competente, garantindo que o pavimento seja duradouro, seguro e confortável ao usuário. Para a realização da caracterização mecânica das misturas asfálticas recicladas, os ensaios de maior relevância são do tipo:

- Estabilidade Marshall;
- Resistência à Tração (RT);
- Módulo de Resiliência (MR);
- Resistência à Tração por Umidade Induzida (Ensaio Lottman Modificado).

Estabilidade Marshall: Segundo Bernucci *et al.* (2008) o ensaio de estabilidade Marshall é feito em corpos de prova cilíndricos dosado e compactados de acordo com a norma, esses corpos de prova cilíndricos são ensaiados na prensa Marshall (Figura 13). A carga de compressão é aplicada por meio de cabeçotes curvos, a uma temperatura de ensaio de 60°C e taxa de carregamento de 5 cm/minuto. O resultado deste ensaio é a estabilidade Marshall (carga máxima em que o corpo de prova rompe) e a fluência dada pelo deslocamento vertical total do parto. A mistura asfáltica é adequada para pavimentação se possuir Estabilidade Marshall mínima (75 golpes em cada face) de 500 Kgf, (DNIT 031/2006 ES).

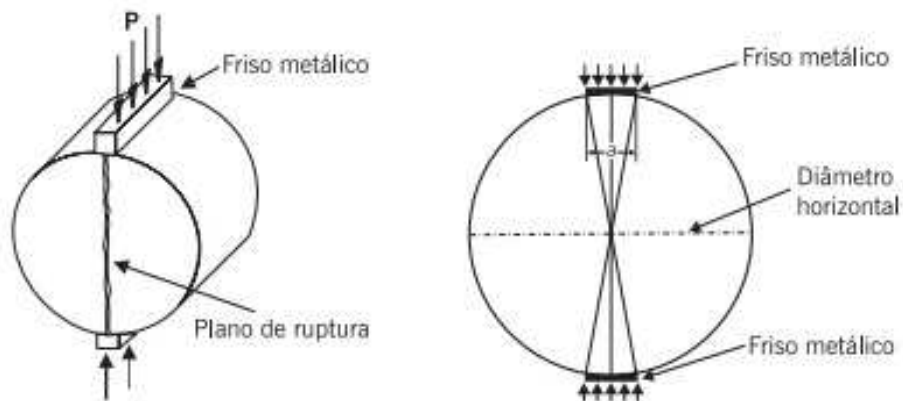
Figura 13 - Prensa Marshall



Fonte: Bernucci *et al.* (2008)

Resistência à Tração: “O ensaio de resistência à tração por compressão diametral constitui um arranjo simples que permite impor um plano de ruptura idêntico ao plano de aplicação da carga (Figura 14). O ensaio é bastante empregado na atualidade para a medida da resistência à tração indireta de amostras de concretos asfálticos” (BALBO, 2007).

Figura 14 - Esquema do ensaio de compressão diametral



Fonte: DNER (1994)

Na norma do DNER-ME 138/94, são descritos os procedimentos para realização do ensaio de resistência à tração por compressão diametral. Este ensaio determina a resistência de forma indireta. O ensaio de RT é realizado em corpos de prova cilíndricos de dimensões aproximadas de 100 mm e 63,5 mm de diâmetro e altura respectivamente. A carga é aplicada através de frisos metálicos de 12,7 mm progressivamente, em prensa com velocidade do êmbolo de $0,8 \pm 0,1$ mm/s até a ruptura do corpo de prova, segundo o plano diametral vertical, havendo a separação em duas metades do corpo de prova. O resultado do RT é obtido pela Equação (2.1):

$$\sigma_R = \left(\frac{2F}{100\pi DH} \right) \quad (2.1)$$

Onde:

σ_R , resistência à tração (MPa);

F, carga de ruptura (N);

D, diâmetro do corpo de prova (cm);

H, altura do corpo de prova (cm).

A mistura asfáltica é adequada para pavimentação se possuir resistência à tração por compressão diametral estática, a 25°C, igual ou superior a 0,65 MPa, (DNIT 031/2006 ES).

Módulo de Resiliência: Tanto o Módulo de Resiliência (MR) como o módulo de Elasticidade (E), são definidos como a relação entre tensão (σ) e deformação (ϵ). Porém, o Módulo de Resiliência é determinado em ensaio de carga repetida. O termo resiliência é definido, segundo Nascimento (2011), classicamente como energia armazenada num corpo deformado elasticamente, a qual é devolvida quando cessam as tensões causadoras das deformações. Também pode ser definido como a capacidade de um material não resguardar deformações depois de cessada a ação da carga. Este parâmetro é usado na formalização de análises de sistemas de camadas dos materiais de pavimentação.

Bernucci *et al.* (2008) afirmam que o ensaio do MR (Figura 15) pode ser realizado em amostras produzidas em laboratório a partir de corpos de prova moldados no compactador Marshall ou SUPERPAVE (também com diâmetro de 100 mm e altura de 63,5 mm) ou extraídos em campo com diâmetro de 100 mm e altura entre 35 mm e 65 mm.

A realização do ensaio de acordo com a norma brasileira DNIT – ME 133/94 é feita em duas etapas. A primeira etapa consiste no condicionamento do corpo de prova, a partir da

aplicação de uma carga vertical repetida por 200 vezes diametralmente num corpo de prova cilíndrico, a fim de obter uma tensão menor ou igual a 30% da resistência à tração determinada no ensaio de compressão diametral estática. A frequência de aplicação da carga é de 60 ciclos por minuto e duração de 0,1 segundo. A segunda etapa consiste em aplicar uma carga vertical repetida por 300, 400 e 500 vezes sucessivamente. O MR será a média aritmética dos módulos obtidos a partir da relação da carga aplicada para 300, 400 e 500 repetições, pelas respectivas deformações.

“A relação entre o módulo de resiliência e a resistência à tração tem sido empregada simultaneamente em projetos de dosagens, em especial, de misturas asfálticas. Quanto mais rígido apresenta-se um material, maior é sua capacidade como camada de reter esforços em si mesma” (BALBO, 2007).

Figura 15 - Equipamento para obtenção do módulo de resiliência



Fonte: Bernucci *et al.* (2008)

Resistência à Tração por Umidade Induzida (Ensaio Lottman Modificado): A afinidade ao cimento asfáltico de petróleo (CAP), também chamada de adesividade, é definida segundo Nascimento (2011), como a qualidade do granular deixar-se aderir pelo CAP e pode ser verificada através do ensaio Lottman Modificado, em que se busca a resistência das misturas asfálticas à ação deletéria da umidade induzida.

O ensaio de Lottman Modificado é descrito pela norma NBR 15617. Nesse ensaio, a mistura asfáltica é submetida, primeiramente, a uma pressão que varia de 254 – 660 mmHg, a fim de se obter grau de saturação dos vazios entre 55 e 80% de água. Em seguida, a amostra é mantida sob congelamento (-18°C), envolvida em sacos plásticos com 10 ml de água destilada

por cerca de 24 horas. Após o congelamento, a mistura é mantida por cerca de 24 horas imersa em banho a temperatura de 60°C. A última etapa do condicionamento é a imersão em água, sob temperatura de 25°C, por 2 horas. Após os condicionamentos, realiza-se o ensaio de resistência à tração por compressão diametral.

A ação deletéria da água é medida através da comparação da resistência de misturas não submetidas à ação da umidade. Para considerar os resultados satisfatórios, é necessário que as misturas submetidas à ação da água apresentem resistência igual ou superior a 70% da resistência dos corpos de prova não submetidos ao condicionamento, conforme mostrado na Equação (2.2).

$$Lottman = \left(\frac{RT'}{RT} \right) \times 100\% \quad (2.2)$$

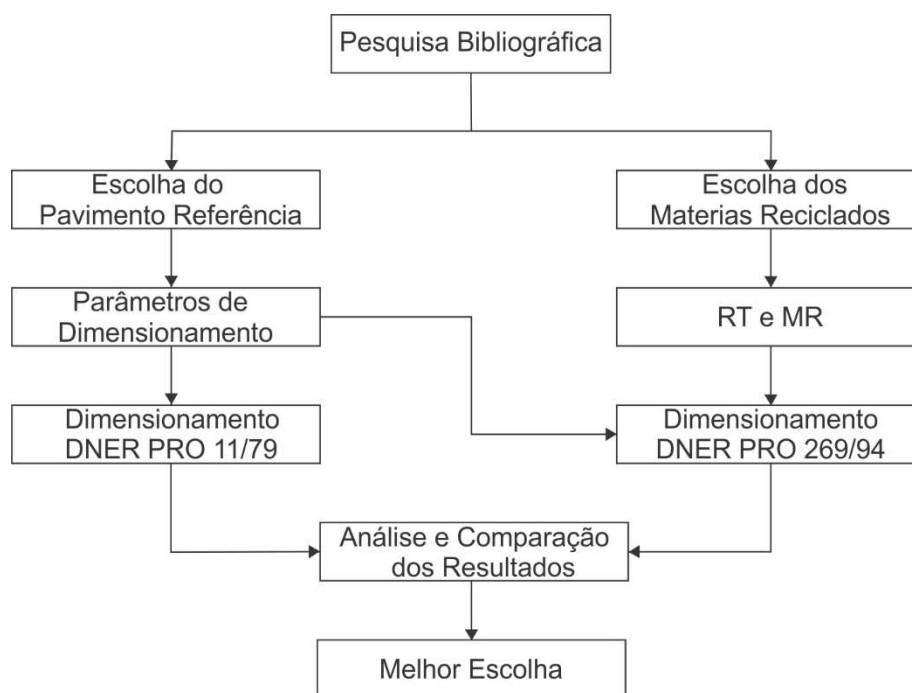
Onde: RT' é a resistência à tração após o condicionamento (MPa);

RT é a resistência à tração antes do condicionamento (MPa).

3 MATERIAIS E MÉTODO

Este trabalho é baseado na pesquisa bibliográfica de outros trabalhos, artigos, dissertações e teses que tenham como o tema o uso de material asfáltico reciclado na restauração de pavimentos. Após a obtenção dos dados necessários, é realizado o dimensionamento das camadas de reforço do revestimento e comparados com a camada de reforço do pavimento referência. Após as comparações, é realizada uma análise e sugestão de viabilidade do uso do material escolhido. A Figura 16 apresenta um fluxograma explicando o método seguido para alcançar aos resultados de dimensionamento de reforço do revestimento e sua posterior análise.

Figura 16 – Fluxograma do método



Fonte: O autor

3.1 Pesquisa Bibliográfica

A pesquisa bibliográfica foi realizada primeiramente através da busca de trabalhos com propostas de dimensionamentos de reforço de pavimentos, e após a realização destes estudos, foi escolhida a dissertação de Fonseca (2013) em que o autor sugere seções de reforço de pavimento de trechos de uma rodovia, seguindo os procedimentos DNER PRO 11/79 e DNER PRO 269/94.

Com o dimensionamento de reforço do pavimento referência definido, busca-se alternativas de materiais asfálticos reciclados estudados em outros trabalhos para dimensionar novas seções de reforço do pavimento e, assim, analisar a viabilidade do uso do tipo de material empregado. O Quadro 3 mostra os autores e as misturas estudadas (de uma à duas misturas) escolhidas para a realização do dimensionamento do reforço de revestimento.

Quadro 3 - Resumo de autores e materiais selecionados

| Autor | Mistura 1 | Mistura 2 |
|----------------|--|---|
| David (2006) | Fresado + ARE-75 | Fresado + pó + RL-1C |
| Dama (2003) | Fresado + filer + água + espuma de asfalto | |
| Luvizão (2014) | Fresado + cimento + pó de pedra | |
| Zubaran (2014) | Fresado (50%) + CAP 30/45 (20%) + AR-75 | Fresado (50%) + CAP 30/45 (50%) + AR-75 |
| Lima (2003) | Fresado (30%) + CAP 50/60 + AR-75 | Fresado (50%) + CAP 50/60 + AR-75 |

Fonte: O autor

3.2 Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis

Para o dimensionamento da camada de reforço do revestimento foram definidos dois métodos de dimensionamento:

1. Procedimento Normativo DNER-PRO 11/79 – Avaliação Funcional dos Pavimentos Flexíveis
2. Procedimento Normativo DNER-PRO 269/94 – Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis (TECNAPAV)

3.2.1 Procedimento Normativo DNER-PRO 11/79

É um procedimento empírico de análise deflectométrica, baseado na avaliação objetiva da superfície do pavimento e levantamento das deflexões e raio de curvatura com a viga Benkelman. Para cada segmento homogêneo do trecho a ser restaurado são determinadas estatisticamente a deflexão de projeto e as deflexões admissíveis através do número N (número de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão de 8,2 tf).

O método é baseado na evolução das deflexões recuperáveis quando o pavimento é submetido às ações de carregamento e intemperismo.

A avaliação estrutural do pavimento e o cálculo do reforço são executados pelos critérios deflectométricos e da resistência. O cálculo da espessura do reforço em concreto asfáltico (CA) é efetuado em função da deflexão de projeto e da deflexão admissível.

O valor da deflexão admissível depende dos materiais constituintes do revestimento e da base do pavimento, bem como do número N .

Para pavimentos flexíveis, constituídos de revestimento de CA executado sobre base granular, o valor da deflexão admissível (D_{adm}) em 0,01 mm é dado pela Equação (3.1) correspondente a deflexões medidas com a carga padrão de 8,2 tf por eixo:

$$\log D_{adm} = 3,01 - 0,176 \log N \quad (3.1)$$

O procedimento propõe um critério para a fixação das diretrizes a serem adotadas para efeito da avaliação estrutural dos pavimentos. Procura-se formular cinco casos típicos, na suposição de que a maioria das situações que ocorrem nos sub-trechos homogêneos possam se enquadrar, aproximadamente, em uma das hipóteses formuladas. Para isto, consideram-se os seguintes parâmetros, obtidos durante os estudos executados:

N – número de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão de 8,2 tf;

D_p – deflexão de projeto;

R – raio de curvatura;

D_{adm} – deflexão admissível;

I.G.G – Índice de Gravidade Global.

O Quadro 4 indica os critérios para avaliação estrutural.

Quadro 4 - Critérios para avaliação estrutural

| Hipótese | Dados Deflectométricos obtidos | Qualidade Estrutural | Necessidade de Estudos Complementares | Critério para Cálculo de Reforço | Medidas Corretivas |
|----------|------------------------------------|---|---------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| I | $D_p \leq D_{adm}$ $R \geq 100$ | BOA | NÃO | | Apenas correções de superfície |
| II | $D_p > D_{adm}$ $R \geq 100$ | Se $D_p \leq 3 D_{adm}$ REGULAR | NÃO | Deflectométrico | Reforço |
| | | Se $D_p > 3 D_{adm}$ MÁ | SIM | Deflectométrico e Resistência | Reforço ou Reconstrução |
| III | $D_p \leq D_{adm}$ $R < 100$ | REGULAR PARA MÁ | SIM | Deflectométrico e Resistência | Reforço ou Reconstrução |
| IV | $D_p > D_{adm}$ $R < 100$ | MÁ | SIM | Resistência | Reforço ou Reconstrução |
| V | — | MÁ O pavimento apresenta deformações permanentes e rupturas plásticas generalizadas ($IGG > 180$). | SIM | Resistência | Reconstrução |

Fonte: DNER-PRO 11/79

A espessura necessária de reforço do pavimento deve ser estimada através dos resultados do levantamento deflectométrico executado para a avaliação estrutural, conforme Equação (3.2).

$$h = K \cdot \log \frac{D_p}{D_{adm}} \quad (3.2)$$

Onde:

h – espessura do reforço do pavimento em centímetros;

D_p – deflexão de projeto determinada para o subtrecho homogêneo, objeto do dimensionamento, em centésimos de milímetro;

D_{adm} – deflexão admissível após a execução do reforço do pavimento, em centésimos de milímetro;

K – fator de redução de deflexão, próprio do material usado no reforço.

Para calcular a espessura de reforço do pavimento, h_{cb} , em termos de CA, e número máximo $N=10^8$ usa-se a Equação (3.3) com $D_{adm}=40$ (proveniente do ábaco da norma DNER PRO 11/79, página 10). Deve ser usado o valor 40 para K , pois para a expressão $\log (D_p/D_{adm})$ ser igual a 1 D_p deve ser igual a 400, tendo-se, portanto:

$$h_{cb} = 40 \cdot \log \frac{D_p}{D_{adm}} \quad (3.3)$$

Um valor mais exato, para as características próprias do material empregado no reforço, pode ser determinado pela Equação (3.4).

$$K = \frac{h}{\log \frac{D_0}{D_r}} \quad (3.4)$$

Onde:

K - fator de redução de deflexão a ser determinado para o material usado na execução do reforço;

h - espessura do reforço, em centímetros;

D_0 – deflexão medida na superfície do pavimento existente, antes da execução do reforço, em centésimos de milímetro;

D_r – deflexão medida na superfície do reforço, em centésimos de milímetros.

As medidas efetuadas antes e após a execução do reforço do pavimento devem ser feitas sob as mesmas condições do subleito. As medidas efetuadas sobre o reforço do pavimento devem ser feitas quando houver certeza de que o novo revestimento não está mais sendo influenciado pela compactação dada pelo tráfego (fase de consolidação).

A espessura do reforço do pavimento pode ser facilmente corrigida, se for constatado que K tem um valor diferente de 40, pela Equação (3.5).

$$h_r = \frac{K}{40} \cdot h_{40} \quad (3.5)$$

Onde:

h_r – espessura do reforço para material $K \neq 40$;

K – fator de redução de deflexão próprio do material usado no reforço do pavimento;

h_{40} – espessura do reforço do pavimento considerando-se $K = 40$.

3.2.2 Procedimento Normativo DNER PRO 269/94

O procedimento DNER PRO 269/94 também conhecido como Método da Resiliência (TECNAPAV) baseia-se no comportamento resiliente do material asfáltico, em que são realizados estudos tanto em campo, quanto em laboratório, sendo realizada observação do comportamento do pavimento em relação à ação de cargas repetitivas.

Primeiramente divide-se a rodovia em segmentos homogêneos levando-se em conta as condições de tráfego, subleito, deflexão recuperável, estrutura do pavimento e condições superficiais. O parâmetro de tráfego utilizado é calculado de acordo com os fatores de equivalência do Corpo de Engenheiros do Exército Americano (USACE).

A deflexão recuperável deve ser determinada de acordo com a DNER-PRO 024/94. O levantamento da condição do pavimento deve obedecer a DNIT 007/2003-PRO (quanto ao levantamento da área defeituosa) e a DNIT 005/2003 – TER (quanto aos tipos de defeitos). A irregularidade, considerada apenas para segmentação, é avaliada por meio de medidores tipo-resposta (IPR/USP ou Maysmeter, entre outros).

Devem ser efetuadas sondagens a cada dois quilômetros, introduzindo-se mais poços de sondagem no caso de haver uma mudança na estrutura do pavimento. Em cada ponto de sondagem devem ser determinadas expeditamente características das camadas do pavimento e do subleito.

As amostras coletadas na sondagem são conduzidas ao laboratório para ensaios de caracterização, granulometria e Índice de Suporte Califórnia (ISC). Os solos são classificados em três grupos quanto a sua resiliência, em função de seu *California Bearing Ratio* (CBR ou ISC) e de sua porcentagem de silte (S), conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação dos solos

| CBR % | SILTE% | | |
|-----------|-----------|---------|--------|
| | ≤ 35 | 35 á 45 | > 45 |
| ≥ 10 | I | II | III |
| 6 a 9 | II | II | III |
| 2 a 5 | III | III | III |

Fonte: Brasil (2006)

Para fins de análise, devem ser consideradas como camadas granulares constituintes do pavimento, as que contenham materiais com mais de 45% retidos na peneira de abertura 0,075 mm (#200).

3.2.2.1 Dimensionamento do Reforço com Mistura Nova

A espessura necessária para reforçar o pavimento existente deve ser determinada conforme as seguintes etapas:

- Definição para cada segmento homogêneo caracterizado da espessura de mistura betuminosa existente (h_e), da deflexão característica ($D_c = \bar{x} + \sigma$), o trincamento (TR), da espessura da camada granular (H_{cg}) e do tipo de solo da fundação.
- Representação para cada segmento homogêneo da chamada estrutura de referência, constituída por três camadas com as respectivas espessuras, conforme ilustrado na Figura 17.

Figura 17 - Estrutura de referência do TECNAPAV



Fonte: Brasil (2006)

c) Cálculo da espessura efetiva (h_{ef}) do revestimento betuminoso através da equação (3.6).

$$h_{ef} = -5,737 + \frac{807,961}{D_c} + 0,972I_1 + 4,101I_2 \quad (3.6)$$

Onde:

h_{ef} = espessura efetiva (cm);

D_c = a deflexão característica (0,01 mm);

As constantes I_1 e I_2 estão relacionadas com as características resilientes da 3ª camada da estrutura de referência e de acordo com os seguintes casos:

- Caso 1 – espessura da camada granular inferior ou igual a 45 cm
 - Quando a 3ª camada for do tipo I $\rightarrow I_1 = 0$ e $I_2 = 0$
 - Quando a 3ª camada for do tipo II $\rightarrow I_1 = 1$ e $I_2 = 0$
 - Quando a 3ª camada for do tipo III $\rightarrow I_1 = 0$ e $I_2 = 1$
- Caso 2 – espessura da camada granular é maior que 45 cm
 - Adotar $\rightarrow I_1 = 0$ e $I_2 = 1$
- Caso 3 – espessura efetiva compreendida entre $0 \leq h_{ef} \leq h_e$
 - Se: $h_{ef} < 0$, adotar $\rightarrow h_{ef} = 0$
 - Se: $h_{ef} > h_e$, adotar $\rightarrow h_{ef} = h_e$
- Caso 4 – se o grau de trincamento do revestimento existente for superior a 50% ou ($FC-2 + FC-3 > 80\%$) ou ($FC-3 > 30\%$), então é conveniente adotar $h_{ef} = 0$ e considerar a solução de recapeamento em camadas integradas de CA e PMF.

Sendo:

FC-2: trincas com abertura superior a 1,0 mm e sem erosão nas bordas.

FC-3: trincas com abertura superior a 1,0 mm e com erosão nas bordas.

d) Cálculo da deflexão máxima permissível através da Equação (3.7).

$$\log D_{adm} = 3,148 - 0,188 \log N_p \quad (3.7)$$

Onde:

D = deflexão máxima permissível (0,01mm)

N_p = número de solicitações de eixo padrão de 8,2 tf, durante a vida do projeto.

e) Cálculo da espessura do reforço em concreto asfáltico (HR) através da Equação (3.8).

$$HR = -19,015 + \frac{238,14}{D_{adm}^2} - 1,357 h_{ef} + 1,014 I_1 + 3,893 I_2 \quad (3.8)$$

f) Soluções de recapeamento:

- Caso 1 – se $3 < HR \leq 12,5$ cm, utiliza-se camada única de CA ou camadas integradas de CA e pré-misturado caso a superfície do pavimento estiver muito fissurada, procurando-se assim evitar a propagação das trincas.
- Caso 2 – se $12,5 < HR \leq 25$ cm, é recomendada a adoção de camadas integradas do tipo CA (H_{ca}) e pré-misturado (H_{pm}) com as seguintes relações entre as espessuras:
 - $H_{pm} = 0,40 HR$
 - $H_{ca} = HR - H_{pm}$
- Caso 3 – se $HR > 25$ cm, as camadas integradas não devem ser constituídas exclusivamente de misturas betuminosas; nesta situação deve-se verificar também a conveniência da reconstrução parcial ou total do pavimento existente.
- Caso 4 – se $HR \leq 3$ cm, pode-se, a partir da análise das condições do pavimento existente, verificar a viabilidade de intervenção com soluções do tipo tratamento superficial ou lama asfáltica.
- Caso 5 - o método contempla também a possibilidade de, face a restrições orçamentárias, utilizar-se de uma solução de reforço por etapas. Neste caso, a Norma apresenta modelos para mais duas soluções sucessivas dentro do período de análise.

3.2.2.2 Dimensionamento do Reforço com Mistura Reciclada

A espessura do revestimento existente a ser reciclada e a de reforço complementar devem ser determinadas de acordo com as etapas a seguir descritas:

a) Cálculo da relação modular (μ) pela Equação (3.9):

$$\mu = \frac{MR_c}{M_{ef}} \quad (3.9)$$

Onde:

MR_c = módulo de resiliência da mistura betuminosa reciclada (kgf/cm²), determinada em laboratório.

M_{ef} = módulo de resiliência efetivo do revestimento existente (kgf/cm²), obtido pela Equação (3.10).

$$\log M_{ef} = 11,19 - 2,753 \log D_c - 1,714 \log h_e - 0,0053 l_1 + 0,2744 I_2 \quad (3.10)$$

b) Cálculo da deflexão de projeto característica, após reciclagem obtida pela Equação (3.11):

$$\overline{D}_c = D_c \left[\frac{h_c}{h_e} (\mu^{1/3} - 1) + 1 \right]^{-1,324} \quad (3.11)$$

Onde:

D_c = deflexão de projeto (0,01 mm);

h_e = espessura da camada betuminosa existente (cm);

h_c = espessura de corte (cm), que deve atender as seguintes condições: $h_c \geq 3,0$ cm e $h_c \leq h_e - 2$;

\overline{D}_c = deflexão de projeto característica do pavimento reciclado correspondente à espessura h_c (0,01 mm)

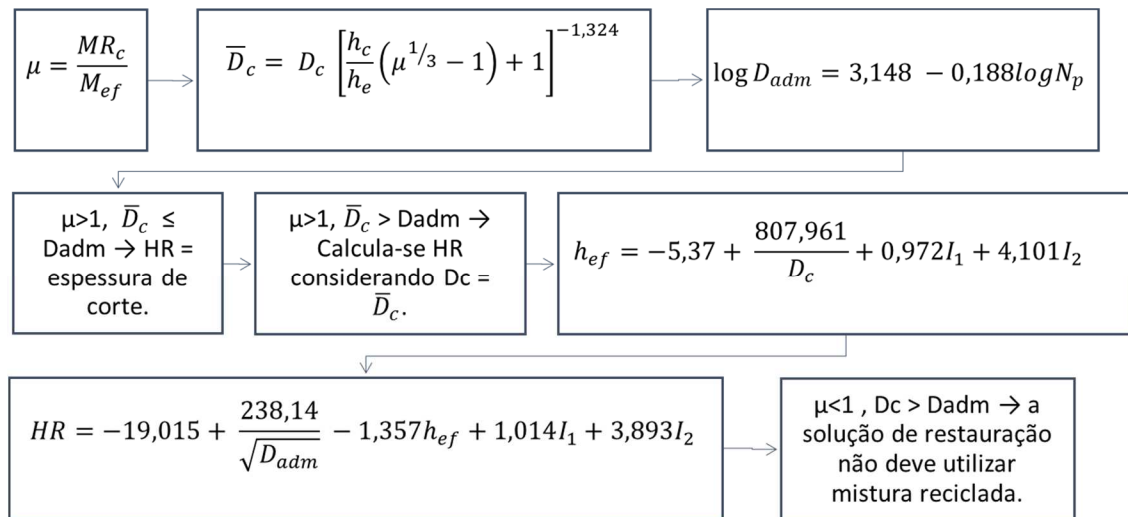
c) Solução de recapeamento

- Caso 1: para $\mu \leq 1,0$ a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada. Contudo, pode ser avaliada a reciclagem com espessura mínima de corte no caso em que $D_c \leq D$ ou $HR \leq 3$ cm.
- Caso 2: para $\mu > 1,0$ adotar o seguinte procedimento:

- Calcular \bar{D}_c para diferentes valores de h_c ;
- Para $\bar{D}_c \leq D$ pode ser utilizada mistura reciclada com a respectiva espessura de corte h_c ;
- Para $\bar{D}_c > D$ dimensionar a camada de reforço considerando:
 $D_c = \bar{D}_c$. Esta solução constitui uma alternativa de restauração mista, ou seja, reciclagem com corte de espessura h_c e recapeamento com espessura HR.

A Figura 18 apresenta um fluxograma indicando os passos a serem seguidos para o cálculo da camada de reforço de revestimento utilizando material asfáltico reciclado.

Figura 18 - Fluxograma para o cálculo de HR usando material asfáltico reciclado



Fonte: O autor

3.3 Dados de Entrada

Os dados de entrada para a realização do dimensionamento da camada de reforço do revestimento são selecionados de acordo com os parâmetros necessários para a realização dos cálculos seguindo as orientações dos procedimentos normativos DNER PRO 11/79 e DNER PRO 269/94. Os dados de entrada seguem a ordem de escolha primeiramente das seções de referência e posteriormente os materiais asfálticos reciclados.

3.3.1 Seções de Referência de Dimensionamento

Foram adotadas as seções estudadas por Fonseca (2013) em sua dissertação “Análise das Soluções de Pavimentação do Programa CREMA¹ 2ª Etapa do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes”. Tendo em vista o objetivo da presente pesquisa, foram feitas alterações nos tipos de materiais usados nas seções para dimensionar a camada de reforço do pavimento, buscando contemplar a possibilidade de reciclagem. As características dos materiais avaliados foram obtidas de pesquisa bibliográfica conforme apresentado no item 3.1.

Os trechos estudados por Fonseca (2013) estão situados na rodovia BR-222/CE que liga as cidades de Fortaleza a Belém. Nestes trechos foram feitos estudos de tráfego, considerando-se o ciclo de vida útil do projeto de 10 anos a partir do ano de abertura ao tráfego (2013 a 2022), sendo que o total acumulado anualmente corresponde ao Número “N” (Tabela 3).

Tabela 3 - VMDa e número "N" para o ano 2022 horizonte de projeto da BR-222/CE

| SEGMENTO | VMDA (ANO 2022) | | NÚMERO "N" | |
|--|-----------------|-----------|------------|----------|
| | MISTO | COMERCIAL | AASHTO | USACE |
| P1 - BR-222/CE - km 0,00 – km 64,3 | 10486 | 3870 | 2,02E+07 | 6,51E+07 |
| P2 - BR-222/CE - km 228,7 – km 311,8 | 8348 | 3936 | 2,52E+07 | 9,53E+07 |
| P3 - BR-222/CE - km 318,2 – km 348,8 | 8593 | 3864 | 2,28E+07 | 8,37E+07 |
| P4 - Acesso Leste Caucaia - km 0,0 – Km 3,8 | 15910 | 3430 | 1,54E+07 | 5,04E+07 |
| P5 - Acesso Oeste Caucaia - km 0,0 – Km 11,2 | 3619 | 2188 | 9,30E+06 | 2,80E+07 |
| P6 - Acesso Leste Sobral - km 0,0 – Km 2,5 | 8218 | 2102 | 1,12E+07 | 4,41E+07 |
| P7 - Acesso Oeste Sobral - km 0,0 – Km 3,8 | 3488 | 2554 | 1,02E+07 | 3,36E+07 |

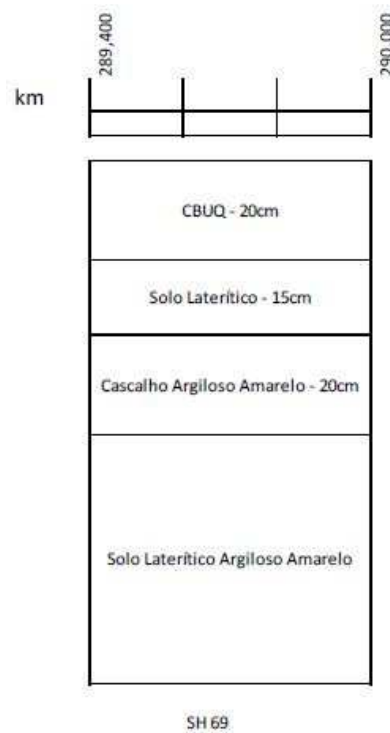
Fonte: Engespro (2012) apud Fonseca (2013)

¹ CREMA – Contrato de Recuperação e Manutenção de Rodovias

Para o dimensionamento do reforço, Fonseca (2013) selecionou os segmentos 69 (km 289,4 a 290), 87 e 88 (km 309,5 a 311,9), 91 (km 324,0 a 325,90) e 103 a 108 (extensão da rodovia BR-222/CE na altura do km 5,4).

Foram feitas sondagens nestes trechos da rodovia, onde se obteve a caracterização geométrica e dos materiais da seção de cada segmento, ilustrados pelas Figuras 19 a 23.

Figura 19 - Perfil longitudinal do pavimento do segmento homogêneo 69



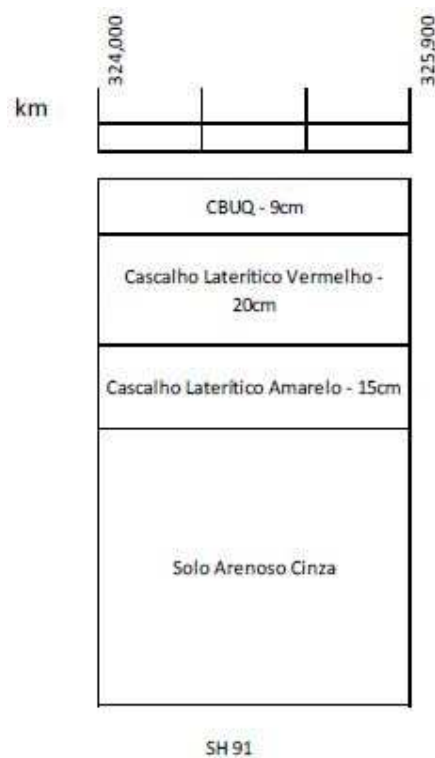
Fonte: Fonseca (2013)

Figura 20 - Perfil longitudinal do pavimento dos segmentos homogêneos 87 e 88



Fonte: Fonseca (2013)

Figura 21 - Perfil longitudinal do pavimento do segmento homogêneo 91



Fonte: Fonseca (2013)

Figura 22 - Perfil longitudinal do pavimento dos segmentos homogêneos 103 a 105



Fonte: Fonseca (2013)

Figura 23 - Perfil longitudinal do pavimento dos segmentos homogêneos 106 a 108



Fonte: Fonseca (2013)

A faixa granulométrica do material aplicado é “C” conforme especificações do DNIT ES 031/2004, e uso de CAP 50/70. Das amostras coletadas de material de base, sub-base e subleito, foram realizados ensaios *in situ* (densidade e umidade) e em laboratório, (ensaios de caracterização, compactação e ISC). Fonseca (2013) apresenta o resumo dos resultados destes ensaios (Tabelas 4 a 6).

Tabela 4 - Resumo de ensaios das bases dos segmentos selecionados da BR-222/CE

| | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-----------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ESTACA /km | | | 289,60 | 309,70 | 311,40 | 325,60 | 1,10 | 2,40 | 3,70 | 1,30 | 3,10 | 3,50 |
| SEGMENTO Nº | | | 69 | 87 | 88 | 91 | 103 | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 |
| GRANULOMETRIA | PENEIRAS | 1 " | 100,00 | 100,00 | 97,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| | | 3/4 " | 100,00 | 98,00 | 92,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 98,00 | 100,00 | 98,00 | 100,00 |
| | | 3/8 " | 93,00 | 89,00 | 82,00 | 94,00 | 62,50 | 75,10 | 90,00 | 91,00 | 86,00 | 94,00 |
| | | Nº 4 | 81,00 | 74,00 | 67,00 | 81,00 | 40,50 | 56,90 | 75,00 | 84,00 | 72,00 | 88,00 |
| | | Nº 10 | 71,00 | 64,00 | 56,00 | 71,00 | 29,20 | 38,30 | 66,00 | 68,00 | 65,00 | 73,00 |
| | | Nº 40 | 54,00 | 50,00 | 42,00 | 55,00 | 19,10 | 19,10 | 54,00 | 33,00 | 56,00 | 40,00 |
| | | Nº 200 | 38,00 | 22,00 | 15,00 | 39,00 | 12,70 | 13,50 | 27,00 | 16,00 | 30,00 | 25,00 |
| LIMITES FÍSICOS | | LL | NL | NL | NL | NL | 0,00 | 0,00 | 32,00 | 30,00 | NL | 21,00 |
| | | IP | NP | NP | NP | NP | 7,00 | 0,00 | 9,00 | 9,00 | NP | 6,00 |
| | | LP | NP | NP | NP | NP | 7,00 | 0,00 | 23,00 | 21,00 | NP | 15,00 |
| I . G | | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| CLASSIF. T . R . B . | | | A-4 | A-1b | A-1b | A-4 | A-2-4 | A-1b | A-2-4 | A-2-4 | A-2-4 | A-2-4 |
| COMPACTAÇÃO C/ 12 GOLPES | LAB | UMID. | 10,9 | 10,0 | 6,1 | 9,3 | 9,7 | 7,1 | 10,6 | 8,0 | 11,8 | 9,0 |
| | | DENSI D | 2165 | 2014 | 2152 | 2238 | 2085 | 2145 | 2140 | 2011 | 2065 | 2269 |
| | CAMPO | DENSI D | 2185 | 2087 | 2160 | 2250 | 1973 | 1990 | 2161 | 2032 | 2086 | 2275 |
| | | UMID. | 4,4 | 4,4 | 4,4 | 4,3 | 4,7 | 4,1 | 5,1 | 4,3 | 5,4 | 4,7 |
| | | % COMP | 100,92 | 103,62 | 100,37 | 100,54 | 94,63 | 92,77 | 100,98 | 101,04 | 101,02 | 100,26 |
| ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA | CP C/ 55 GOLPES | UMID. | 10,9 | 10,0 | 6,1 | 9,3 | 9,7 | 7,1 | 10,6 | 8,0 | 11,8 | 9,0 |
| | | DENSI D | 2165,0 | 2014,0 | 2152,0 | 2238,0 | 2085,0 | 2145,0 | 2140,0 | 2011,0 | 2065,0 | 2269,0 |
| | | I.S.C . | 63,1 | 71,4 | 76,9 | 62,1 | 82,9 | 124,4 | 72,6 | 77,4 | 63,5 | 69,3 |
| | | EXP. | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |

Fonte: Fonseca (2013)

É possível observar que o ISC para camada de base apresentou valores médios de 70%, valor inferior ao mínimo recomendado para camada de base pelas especificações do DNIT para o tráfego médio e pesado.

Tabela 5 - Resumo de ensaios das sub-bases dos segmentos selecionados da BR-222/CE

| | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-----------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ESTACA /km | | | 289,60 | 309,70 | 311,40 | 325,60 | 1,10 | 2,40 | 3,70 | 1,30 | 3,10 | 3,50 |
| SEGMENTO Nº | | | 69 | 87 | 88 | 91 | 103 | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 |
| GRANULOMETRIA | PENEIRAS | 1 " | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| | | 3/4 " | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 93,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 91,00 |
| | | 3/8 " | 97,00 | 96,00 | 88,00 | 72,00 | 96,00 | 88,00 | 91,00 | 97,00 | 86,00 | 79,00 |
| | | Nº 4 | 95,00 | 96,00 | 81,30 | 51,00 | 90,00 | 69,00 | 76,00 | 93,00 | 71,00 | 65,00 |
| | | Nº 10 | 78,00 | 72,00 | 76,60 | 37,00 | 68,00 | 60,00 | 67,00 | 63,00 | 65,00 | 54,00 |
| | | Nº 40 | 45,00 | 32,00 | 54,70 | 21,00 | 34,00 | 49,00 | 40,00 | 25,00 | 46,00 | 34,00 |
| | | Nº 200 | 18,00 | 11,00 | 20,40 | 11,00 | 14,00 | 29,00 | 24,00 | 11,00 | 33,00 | 23,00 |
| LIMITES FÍSICOS | | LL | 23,00 | 19,00 | 22,00 | 21,00 | 21,00 | 23,00 | 22,00 | NL | 27,00 | 23,00 |
| | | IP | 5,00 | NP | 12,30 | 4,00 | 5,00 | 5,00 | 4,00 | NP | 8,00 | 5,00 |
| | | LP | 18,00 | NP | 9,70 | 17,00 | 16,00 | 18,00 | 18,00 | NP | 19,00 | 18,00 |
| I . G | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| CLASSIF. T . R . B . | | | A-2-4 | A-1-B | A-2-4 | A-2-4 | A-2-4 | A-2-4 | A-2-4 | A-1-B | A-2-4 | A-2-4 |
| COMPACTAÇÃO/ 12 GOLFES | LAB | UMID. | 7,5 | 8,0 | 10,4 | 8,7 | 6,6 | 5,6 | 7,6 | 6,5 | 9,4 | 7,5 |
| | | DENSID. | 2112 | 2229 | 2112 | 2246 | 2210 | 2159 | 2090 | 2031 | 2020 | 2019 |
| | CAMPO | DENSID. | 2168 | 2240 | 1972 | 2260 | 2234 | 2214 | 2151 | 2172 | 2058 | 2098 |
| | | UMID. | 4,0 | 4,9 | 9,6 | 4,4 | 5,0 | 4,7 | 4,9 | 5,1 | 6,0 | 6,7 |
| | | % COMP. | 102,65 | 100,49 | 93,36 | 100,62 | 101,09 | 102,55 | 102,92 | 106,94 | 101,88 | 103,91 |
| ENSAIO INDICE DE SUPORTE CALIFORNIA | CP C/ 55 GOLFES | UMID. | 7,5 | 8,0 | 10,4 | 8,7 | 6,6 | 5,6 | 7,6 | 6,5 | 9,4 | 7,5 |
| | | DENSID. | 2112,0 | 2229,0 | 2112,0 | 2246,0 | 2210,0 | 2159,0 | 2090,0 | 2031,0 | 2020,0 | 2019,0 |
| | | I . S . C . | 40,0 | 42,0 | 64,0 | 40,0 | 42,0 | 40,0 | 50,0 | 52,0 | 40,0 | 42,0 |
| | | EXP. | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |

Fonte: Fonseca (2013)

Os ISC para camada de sub-base apresentaram valores médios de 45%, valor superior ao mínimo recomendado para camada de sub-base pelas especificações do DNIT.

Tabela 6 - Resumo de ensaios dos subleitos dos segmentos selecionados da BR-222/CE

| | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-----------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ESTACA /km | | | 289,60 | 309,70 | 311,40 | 325,60 | 1,10 | 2,40 | 3,70 | 1,30 | 3,10 | 3,50 |
| SEGMENTO Nº | | | 69 | 87 | 88 | 91 | 103 | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 |
| GRANULOMETRIA | PENEIRAS | 1 " | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| | | 3/4 " | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 95,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 97,00 | 100,00 | 100,00 |
| | | 3/8 " | 87,00 | 88,00 | 100,00 | 88,00 | 90,00 | 100,00 | 100,00 | 84,00 | 100,00 | 98,00 |
| | | Nº 4 | 74,00 | 75,00 | 99,40 | 76,00 | 79,00 | 95,00 | 96,00 | 73,00 | 97,00 | 91,00 |
| | | Nº 10 | 62,00 | 63,00 | 98,80 | 69,00 | 68,00 | 83,00 | 91,00 | 64,00 | 91,00 | 87,00 |
| | | Nº 40 | 45,00 | 47,00 | 77,92 | 62,00 | 47,00 | 68,00 | 79,00 | 46,00 | 52,00 | 56,00 |
| | | Nº 200 | 40,00 | 43,00 | 30,18 | 47,00 | 28,00 | 36,00 | 41,00 | 20,00 | 19,00 | 20,00 |
| LIMITES FÍSICOS | | LL | 26,00 | 20,00 | 31,90 | 25,00 | 31,00 | 28,00 | 31,00 | 25,00 | 22,00 | 22,00 |
| | | IP | 8,00 | NP | 16,60 | 8,00 | 11,00 | 0,00 | 10,00 | 8,00 | 7,00 | 6,00 |
| | | LP | 18,00 | NP | 15,00 | 17,00 | 20,00 | 28,00 | 21,00 | 17,00 | 15,00 | 16,00 |
| I. G | | | 1,00 | 2,00 | 0,00 | 2,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| CLASSIF. T. R. B. | | | A-4 | A-4 | A-2-6 | A-4 | A-2-4 | A-2-4 | A-2-4 | A-2-4 | A-2-4 | A-2-4 |
| COMPACTAÇÃO C/ 12 GOLPES | LAB | UMID. | 13,7 | 10,7 | 8,2 | 13,7 | 8,7 | 11,5 | 14,7 | 9,8 | 10,6 | 9,9 |
| | | DENSID. | 1927 | 1987 | 2102 | 2010 | 1990 | 1918 | 1965 | 1940 | 1960 | 1915 |
| | CAMPO | DENSID. | 2946 | 2012 | 1987 | 2070 | 1950 | 1803 | 1847 | 1862 | 1842 | 1858 |
| | | UMID. | 5,4 | 4,3 | 4,4 | 4,5 | 6,9 | 5,8 | 4,1 | 5,8 | 6,9 | 8,1 |
| | | % COMP. | 152,88 | 101,26 | 94,53 | 102,99 | 97,99 | 94,00 | 93,99 | 95,98 | 93,98 | 97,02 |
| ENSAIO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA | CP C/ 55 GOLPES | UMID. | 13,7 | 10,7 | 8,2 | 13,7 | 8,7 | 11,5 | 14,7 | 9,8 | 10,6 | 9,9 |
| | | DENSID. | 1927,0 | 1987,0 | 2102,0 | 2010,0 | 1990,0 | 1918,0 | 1965,0 | 1940,0 | 1960,0 | 1915,0 |
| | | I. S. C. | 14,0 | 15,0 | 11,0 | 14,0 | 9,0 | 13,0 | 6,0 | 14,0 | 9,0 | 8,0 |
| | | EXP. | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,1 | 0,2 | 0,0 | 0,1 | 0,1 |

Fonte: Fonseca (2013)

Os ISC para camada de subleito apresentaram valores médios de 11%.

Também foi feito um levantamento deflectométrico dos trechos escolhidos, sendo que a avaliação estrutural da condição do pavimento para um projeto do tipo CREMA 2ª Etapa prevê medidas de deflexões recuperáveis com Viga Benkelman de acordo com a norma DNER-ME 024/94, ou através de deflectômetro de impacto FWD, de acordo com a norma DNER-PRO 273/96, sendo usado o método FWD neste trabalho. A Tabela 7 apresenta as medidas das deflexões máximas médias por segmento homogêneo selecionado.

Tabela 7 - Resumo das medidas de deflexão característica

| MEDIDAS DE DEFLEXÃO | | | | | | | | | |
|---------------------|------------|---------|----------|--------------------|--------|-------|-------|--------|--------|
| Nº | QUILÔMETRO | | EXTENSÃO | DEFLEXÃO | | | RAIO | | |
| | INICIO | FIM | (m) | MÉDIA | DESVIO | Dc | MÉDIO | DESVIO | Rc |
| 69 | 289,400 | 290,000 | 600,00 | 65,2 | 8,30 | 73,50 | 180,0 | 46,20 | 133,80 |
| 87 | 309,500 | 311,200 | 1.700,00 | 69,7 | 11,60 | 81,30 | 189,9 | 54,70 | 135,20 |
| 88 | 311,200 | 311,900 | 700,00 | 72,4 | 24,50 | 96,90 | 161,7 | 56,30 | 105,40 |
| 91 | 324,000 | 325,900 | 1.900,00 | 62,2 | 5,70 | 67,90 | 130,0 | 38,60 | 91,40 |
| 103 | 0,000 | 1,492 | 1.492,00 | 63,2 | 10,90 | 74,10 | 192,7 | 44,60 | 148,10 |
| | 1,492 | 1,560 | 68,00 | Ponte s/ Rio Ceará | | | | | |
| 104 | 1,560 | 3,300 | 1.740,00 | 76,8 | 10,30 | 87,10 | 230,4 | 72,30 | 158,10 |
| 105 | 3,300 | 4,100 | 800,00 | 54,0 | 11,50 | 65,50 | 278,1 | 187,2 | 90,9 |
| 106 | 0,000 | 1,492 | 1.492,00 | 65,2 | 8,40 | 73,60 | 187,7 | 73,40 | 114,30 |
| | 1,492 | 1,560 | 68,00 | Ponte s/ Rio Ceará | | | | | |
| 107 | 1,560 | 3,300 | 1.740,00 | 68,7 | 9,70 | 78,40 | 185,2 | 89,20 | 96,00 |
| 108 | 3,300 | 4,100 | 800,00 | 61,1 | 13,50 | 74,60 | 247,3 | 152,50 | 94,80 |

Fonte: Fonseca (2013)

Fonseca (2013) relata que os valores de medidas de deflexões características obtidas para os segmentos homogêneos selecionados, apresentaram-se superiores em até três vezes o valor da deflexão admissível como pode ser observado no Anexo. Para alguns segmentos, o valor do raio de curvatura característico é inferior a 100.

3.3.2 Materiais Asfálticos Reciclados Usados para o Dimensionamento do Reforço

Buscou-se dados de materiais asfálticos reciclados obtidos por outros trabalhos, artigos, dissertações e teses, para serem usados nas propostas de dimensionamentos e assim fazer uma análise de viabilidade destes materiais em comparação com o dimensionamento realizado por Fonseca (2013). Os tópicos serão apresentados de acordo com o tema abordado e o nome do autor.

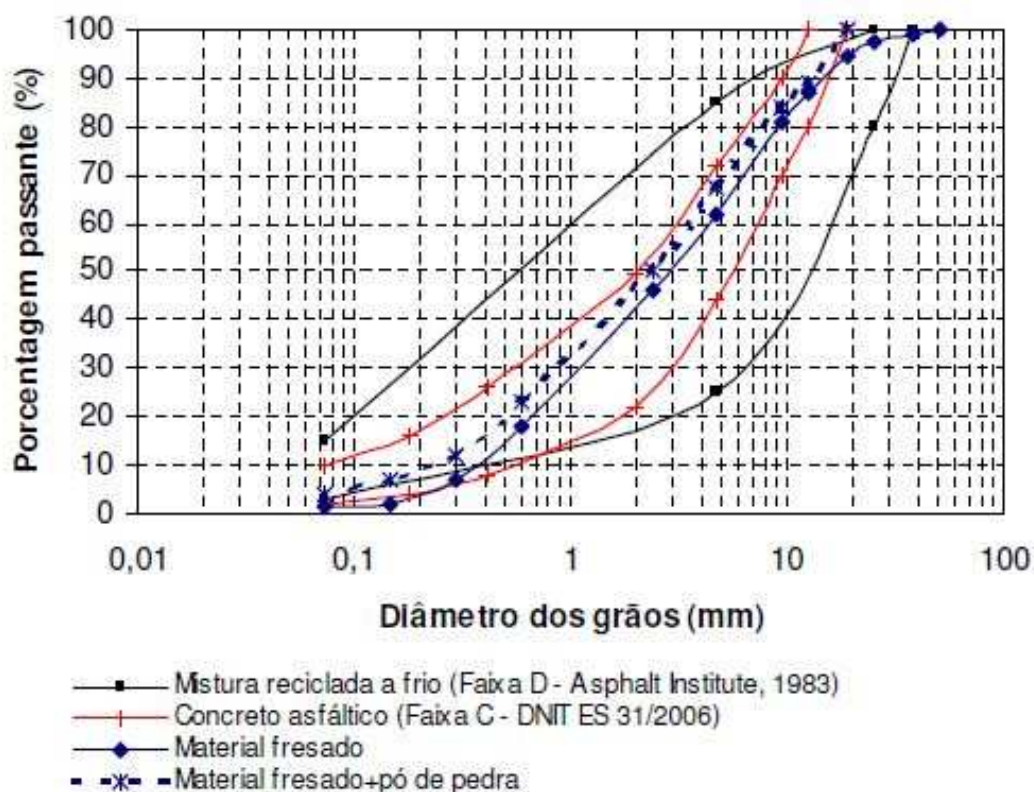
1) “Misturas Asfálticas Recicladas a Frio: Estudo em Laboratório Utilizando Emulsão e Agente de Reciclagem Emulsionado”, Dissertação de Mestrado realizada por Daniela de David (2006).

David (2006) teve como principal objetivo em sua dissertação, a verificação do comportamento mecânico de misturas asfálticas recicladas a frio, através dos ensaios de módulo de resiliência e resistência à tração por compressão diametral, a princípio para fins de utilização como camada de base na restauração de pavimentos. As misturas asfálticas foram

produzidas com material fresado proveniente de revestimentos asfálticos envelhecidos e com dois tipos de ligantes: emulsão asfáltica catiônica de ruptura lenta RL-1C e agente de reciclagem emulsionado ARE-75. Os corpos de provas foram moldados com teores de ligante de (0,5%; 1,0%; 1,5%; 2,0%; 2,5%; 3,0%; 3,5%).

David (2006) lembra que em sua pesquisa foram utilizadas duas granulometrias para as misturas recicladas: uma correspondente à granulometria do material fresado e outra resultante da composição do material fresado e agregado virgem adicional (pó de pedra), representados na curva granulométrica (Figura 24).

Figura 24 - Curva granulométrica do material reciclado obtida por David (2006)



Fonte: David (2006)

Os valores de MR e RT escolhidos estão apresentados na Tabela 8. Os valores de RT serviram como parâmetro para a escolha do material e teor de ligante obtidos por David (2006), seguindo a especificação de serviço DNIT ES 31/2006, que indica que a RT mínima para a camada de revestimento deve ser de 0,65 MPa.

Tabela 8 - Valores de RT e MR obtidos por David (2006)

| Mistura | Teor de Ligante (%) | RT Condição Seca (Mpa) | MR (Mpa) |
|----------------------|---------------------|------------------------------|-------------|
| Fresado + ARE-75 | 2,5 | 0,31 | 3064 |
| Fresado + pó + RL-1C | 2,5 | 0,39 | 5370 |

Fonte: Adaptado de David (2006)

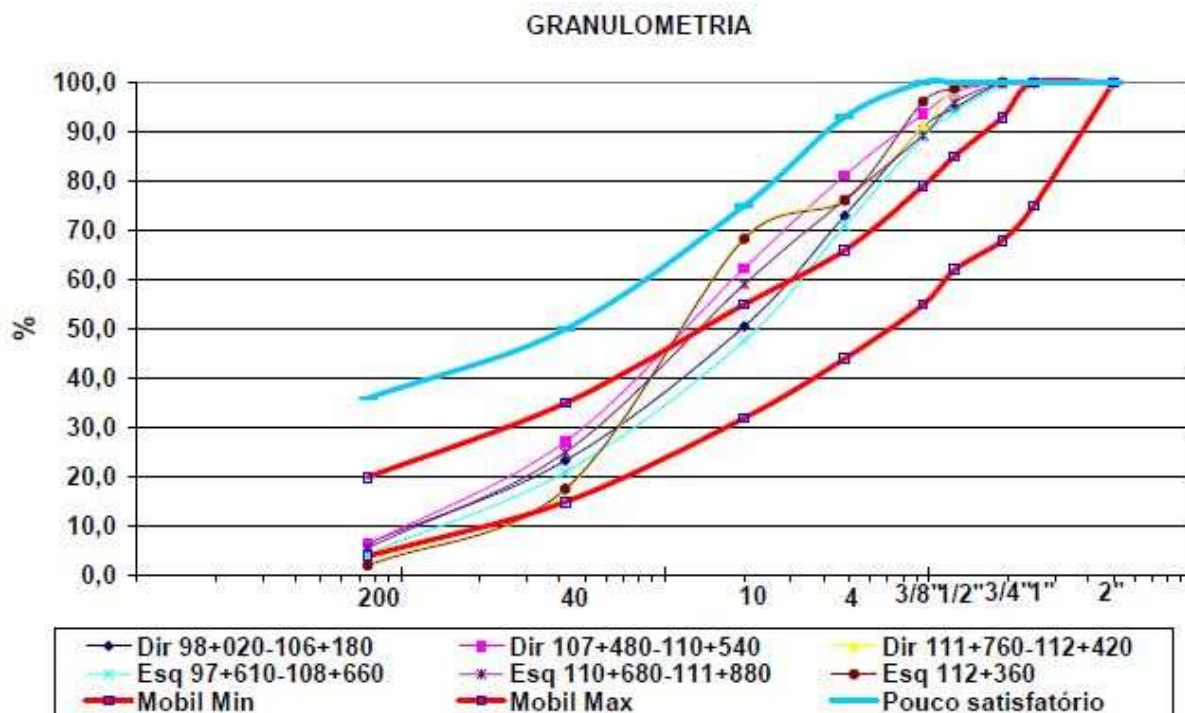
Verifica-se que as misturas recicladas não alcançaram o valor mínimo de RT de 0,65 MPa, isto ocorre pelo fato da mistura reciclada estudada por David (2006) ter como intuito, o uso em base de pavimento. Sendo assim, buscando aumentar os valores de resistência do revestimento de reforço, foi decidido que para o dimensionamento, será usado parte de material asfáltico reciclado, parte de material asfáltico novo.

2) “Análise de Comportamento da Camada Reciclada com Espuma de Asfalto na Rodovia BR-290/RS”, dissertação de Mestrado realizada por Marcelo Archanjo Dama (2003).

Dama (2003) apresenta em sua dissertação o estudo feito sobre reciclagem com espuma de asfalto realizado na rodovia BR-290/RS, entre os km 97 e km 112, pista sentido Porto Alegre. A mistura do material asfáltico reciclado é de fresado + filer + água + espuma de asfalto. O asfalto empregado na reciclagem foi do tipo CAP-20, e o teor de CAP adicionado sob a forma de espuma para todo o trecho foi de 2,5%.

O material reciclado veio da fresagem do revestimento, sendo sua curva granulométrica apresentada na Figura 25.

Figura 25 - Curva granulométrica do material reciclado obtida por Dama (2003)



Fonte: Dama (2003)

Dama (2003) faz em sua dissertação estudos do material reciclado usado no revestimento antes (abril de 2001) e depois (março 2002) de sua aplicação. São obtidos valores de RT e MR para as duas situações (Tabela 9), para sua posterior comparação de desempenho.

Tabela 9 – Valores de RT e MR obtidos por Dama (2003)

| Mistura | Teor de Ligante (%) | RT Condição Seca (Mpa) | MR (Mpa) |
|--|---------------------|------------------------|----------|
| Fresado + filer + água + espuma de asfalto (Antes da aplicação) | 2,5 | 0,53 | 3445 |
| Fresado + filer + água + espuma de asfalto (Depois da aplicação) | 2,5 | 0,55 | 4020 |

Fonte: Adaptado de Dama (2003)

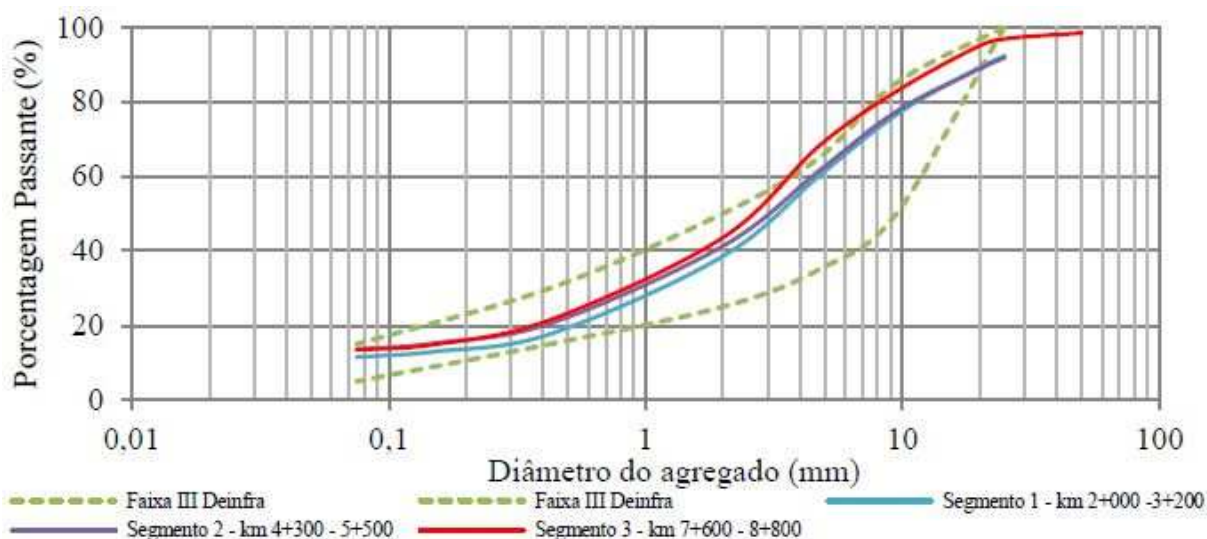
Da mesma forma que David (2006), o material estudado por Dama (2003) tem como o intuito o uso em base de pavimento, desta forma, buscou-se selecionar o material com valor de RT mais próximo do valor mínimo de 0,65 MPa exigido pela especificação de serviço DNIT ES 31/2006. Realizando também o dimensionamento do reforço do revestimento através do uso de parte de mistura reciclada, parte de CA novo.

3) “Avaliação do Desempenho da Reciclagem na Rodovia SC 355: Caracterização da Mistura Reciclada e Avaliação Estrutural de Segmentos Monitorados Executados”, dissertação de Mestrado realizada por Gislaine Luvizão (2014).

O estudo de Luvizão (2014) buscou avaliar o desempenho de um pavimento após o processo de reciclagem com cimento (CP II-F-32) para a camada de base, de alguns segmentos da rodovia SC 355, localizada nos municípios de Jaborá e Concórdia. Os segmentos foram separados em segmento 1 (km 2+000 a km 3+200), segmento 2 (km 4+300 a km 5+500) e segmento 3 (km 7+600 a 8+800).

A Figura 26 mostra a curva granulométrica do material reciclado já com adição de 4% de cimento e 15% de pó de pedra.

Figura 26 - Curva granulométrica do material reciclado obtida por Luvizão (2014)



Fonte: Luvizão (2014)

Luvizão (2014) obtém valores de RT e MR para diferentes teores de cimento e tempo de cura. O segmento 3 foi o único em que foi usado o mesmo teor de cimento para a obtenção de RT e MR, desta forma foi escolhido os valores para um teor de cimento de 4,0% para este segmento, com idade de cura de 28 dias buscando se aproximar do valor de RT mínimo (0,65 MPa) exigido pela especificação de serviço DNIT ES 31/2006. Os valores de RT e MR estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Valores de RT e MR obtidos por Luvizão (2014)

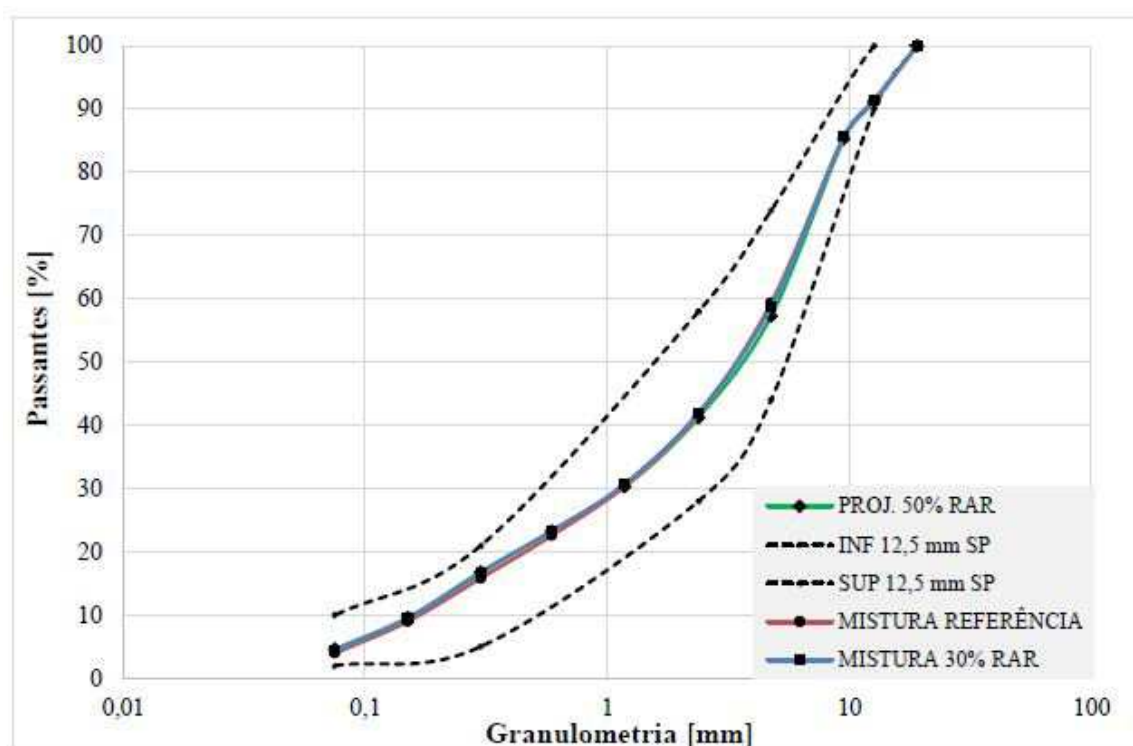
| Mistura | Teor de Cimento (%) | RT Condição Seca (Mpa) | MR (Mpa) |
|---------------------------------|---------------------|---------------------------|----------|
| Fresado + cimento + pó de pedra | 4,0 | 0,6 | 1354 |

Fonte: Adaptado de Luvizão (2014)

4) “Avaliação do Comportamento de Misturas Asfálticas Recicladas Mornas em Laboratório e Usina de Asfalto”, dissertação de Mestrado realizada por Marcelo Zubaran (2014).

Zubaran (2014) teve como objetivo em sua dissertação o uso de material asfáltico reciclado com uso de diferentes teores de RAR, de CAP 30/45 e agente rejuvenescedor AR-75 na restauração de um trecho de pista da Av. Largo Wanda de Oliveira, localizado na Ilha do Fundão, cidade do Rio de Janeiro. O material fresado é proveniente da Avenida João Goulart, mais conhecida como Linha Vermelha, também na cidade do Rio de Janeiro, e sua curva granulométrica com diferentes teores de RAR utilizadas para o projeto das misturas está representada pela Figura 27.

Figura 27 - Curva granulométrica do material reciclado obtida por Zubaran (2014)



Fonte: Zubaran (2014)

As misturas foram feitas com teores de RAR de (0%, 30% e 50%), CAP 30/45 de (0%, 20%, 40%, 50% e 100%) e de AR-75 de (0%, 50%, 60%, 80% e 100%). Foram escolhidas duas misturas com 50% de RAR e diferentes teores de CAP 30/45 e AR-75, e seus respectivos valores de RT e MR conforme Tabela 11.

Tabela 11 - Valores de RT e MR obtidos por Zubaran (2014)

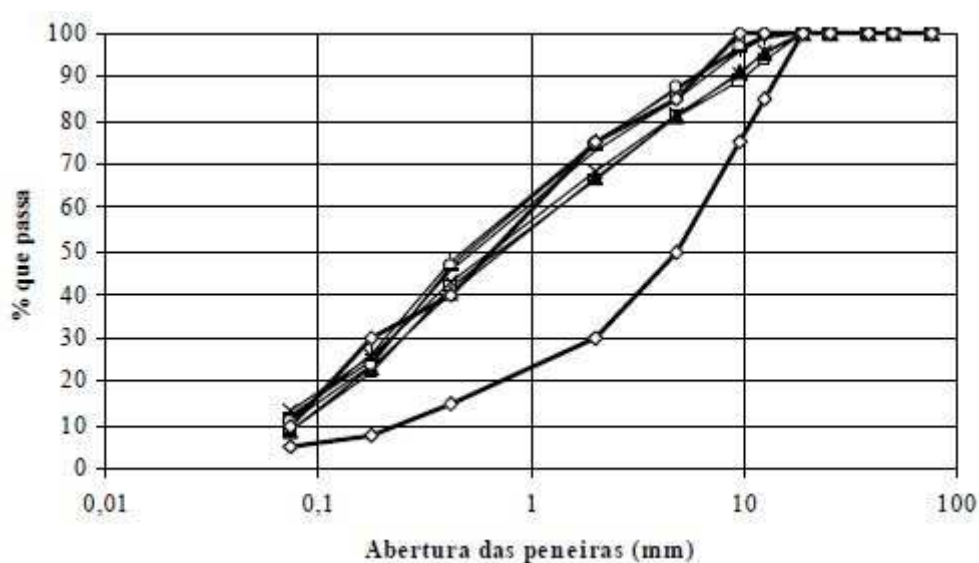
| Mistura | Teor de Ligante (%) | RT Condição Seca (Mpa) | MR (Mpa) |
|--|---------------------|------------------------------|-------------|
| Fresado (50%) + CAP 30/45 (20%) + AR-75 (80%) | 4,9 | 2,54 | 10550 |
| Fresado (50%) + CAP 30/45 (50%) + AR-75 (50%) | 4,95 | 2,71 | 12700 |

Fonte: Adaptado de Zubaran (2014).

5) “Caracterização Mecânica de Misturas Asfálticas Recicladas a Quente”, dissertação de Mestrado realizada por André Theophilo Lima (2003).

Lima (2003) realiza em sua dissertação o estudo de material asfáltico reciclado a quente através da mistura de material fresado com CAP 50/60 e agente rejuvenescedor AR-75. O material fresado é proveniente da Av. Eng. Santana Júnior em Fortaleza, e sua curva granulométrica está ilustrada pela Figura 28.

Figura 28 – Curva granulométrica do material fresado obtida por Lima (2003)



Fonte: Lima (2003)

Lima (2003) apresenta em sua dissertação 4 tipos de misturas com porcentagens de fresado diferentes (0%, 10%, 30% e 50%), e os agregados virgens utilizados para complementar a mistura foram (brita 3/8, areia de campo e filer artificial de pó calcário). As misturas escolhidas foram as misturas III (30% de fresado) e IV (50% de fresado) por apresentarem valores mais elevados de RT e MR (Tabela 12).

Tabela 12 - Valores de RT e MR obtidos por Lima (2003)

| Mistura | Teor de Ligante (%) | RT Condição Seca (MPa) | MR (MPa) |
|-----------------------------------|---------------------|------------------------|----------|
| Fresado (30%) + CAP 50/60 + AR-75 | 5,1 | 1,3 | 7524 |
| Fresado (50%) + CAP 50/60 + AR-75 | 5,2 | 1,6 | 8901 |

Fonte: Adaptado de Lima (2003)

As Tabelas 13 e 14 apresentam um resumo com todos os autores e materiais, juntamente com seus teores de ligante, resistência à tração e módulo de resiliência.

Tabela 13 – Resumo para mistura 1

| Autor | Mistura 1 | Teor de Ligante (%) | RT Condição Seca (MPa) | MR (MPa) |
|----------------|---|---------------------|------------------------|----------|
| David (2006) | Fresado + ARE-75 | 2,5 | 0,31 | 3064 |
| Dama (2003) | Fresado + filer + água + espuma de asfalto (Antes da aplicação) | 2,5 | 0,532 | 3445 |
| Luvizão (2014) | Fresado + cimento + pó de pedra | 4,0 | 0,6 | 1354 |
| Zubaran (2014) | Fresado (50%) + CAP 30/45 (20%) + AR-75 (80%) | 4,9 | 2,54 | 10550 |
| Lima (2003) | Fresado (30%) + CAP 50/60 + AR-75 | 5,1 | 1,3 | 7524 |

Fonte: O autor

Tabela 14 - Resumo para mistura 2

| Autor | Mistura 2 | Teor de Ligante (%) | RT Condição Seca (MPa) | MR (MPa) |
|----------------|--|---------------------|------------------------|----------|
| David (2006) | Fresado + pó + RL-1C | 2,5 | 0,39 | 5370 |
| Dama (2003) | Fresado + filer + água + espuma de asfalto (Depois da aplicação) | 2,5 | 0,552 | 4020 |
| Zubaran (2014) | Fresado (50%) + CAP 30/45 (50%) + AR-75 (50%) | 4,95 | 2,71 | 12700 |
| Lima (2003) | Fresado (50%) + CAP 50/60 + AR-75 | 5,2 | 1,6 | 8901 |

Fonte: O autor

4 RESULTADOS

Primeiramente são apresentados os dimensionamentos das camadas de reforço do revestimento realizados por Fonseca (2013) e posteriormente são realizados os dimensionamentos da camada de reforço do revestimento usando os materiais asfálticos reciclados.

4.1 Dimensionamento do Reforço das Seções de Referência

1) Método DNER PRO 11/79

A partir dos parâmetros de tráfego, avaliação estrutural e funcional do pavimento Fonseca (2013) dimensionou a espessura de reforço do pavimento conforme o método DNER PRO 11/79. Os parâmetros utilizados e os resultados obtidos para os segmentos selecionados estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Dimensionamento do reforço realizado por Fonseca (2013) pelo método DNER PRO 11/79

| SEGMENTO HOMOGÊNEO | | | | AVALIAÇÃO ESTRUTURAL E FUNCIONAL DO PAVIMENTO | | | | | | | CRITÉRIOS DNER-PRO 11/79 | | REFORÇO |
|--------------------|------------|---------|----------|---|------------------|------|--------|----------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|--------------------|---------|
| Nº | QUILÔMETRO | | EXTENSÃO | D _c Benkelman (0,01 mm) | D _{adm} | RAIO | IGG | QUALIDADE ESTRUTURAL | TIPO REVESTIMENTO | N _p (USACE) | CRITÉRIO | MEDIDAS CORRETIVAS | HR (cm) |
| | INÍCIO | FIM | (m) | | | | | | | | | | |
| 69 | 289,400 | 290,000 | 600,00 | 74 | 40 | 180 | 163,48 | REG. | CA | 9,53E+07 | DEFLECTOMÉTRICO | REFORÇO | 10 |
| 87 | 309,500 | 311,200 | 1.700,00 | 81 | 40 | 190 | 160,14 | REG. | CA | 9,53E+07 | DEFLECTOMÉTRICO | REFORÇO | 12 |
| 88 | 311,200 | 311,900 | 700,00 | 97 | 40 | 162 | 233,01 | MA | CA | 9,53E+07 | RESISTÊNCIA | RECONST. | 15 |
| 91 | 324,000 | 325,900 | 1.900,00 | 68 | 41 | 130 | 141,22 | REG. | CA | 8,37E+07 | DEFLECTOMÉTRICO | REFORÇO | 9 |
| 103 | 0,000 | 1,492 | 1.492,00 | 74 | 45 | 193 | 24,55 | REG. | CA | 5,04E+07 | DEFLECTOMÉTRICO | REFORÇO | 9 |
| | 1,492 | 1,560 | 68,00 | Ponte s/ Rio Ceará | | | | | | | | | |
| 104 | 1,560 | 3,300 | 1.740,00 | 87 | 45 | 230 | 58,51 | REG. | CA | 5,04E+07 | DEFLECTOMÉTRICO | REFORÇO | 11 |
| 105 | 3,300 | 4,100 | 800,00 | 66 | 45 | 323 | 14,02 | REG. | CA | 5,04E+07 | DEFLECTOMÉTRICO | REFORÇO | 6 |
| 106 | 0,000 | 1,492 | 1.492,00 | 74 | 45 | 188 | 19,82 | REG. | CA | 5,04E+07 | DEFLECTOMÉTRICO | REFORÇO | 9 |
| | 1,492 | 1,560 | 68,00 | Ponte s/ Rio Ceará | | | | | | | | | |
| 107 | 1,560 | 3,300 | 1.740,00 | 78 | 45 | 185 | 25,90 | REG. | CA | 5,04E+07 | DEFLECTOMÉTRICO | REFORÇO | 10 |
| 108 | 3,300 | 4,100 | 800,00 | 75 | 45 | 247 | 9,95 | REG. | CA | 5,04E+07 | DEFLECTOMÉTRICO | REFORÇO | 9 |

Fonte: Fonseca (2013)

A coluna “Qualidade Estrutural” na tabela é definida por critérios estabelecidos na norma DNER PRO 11/79 conforme Quadro 4 deste trabalho.

2) Método DNER PRO 269/94 (TECNAPAV)

A partir dos parâmetros de tráfego, avaliação estrutural e funcional do pavimento Fonseca (2013) dimensionou a espessura de reforço do pavimento conforme o método DNER PRO 269/94. Os parâmetros utilizados e os resultados obtidos são apresentados na Tabela 16.

Fonseca (2013) chama a atenção para os valores de deflexão características, que são superiores a deflexão admissível, isto afeta o cálculo da espessura de reforço. O subleito foi classificado como tipo II por apresentar o percentual de silte entre 35 e 65% para faixa de ISC observada, classificação que afeta as constantes I_1 e I_2 , em conjunto com a espessura de camada granular.

O cálculo da espessura de reforço considera a espessura da camada betuminosa existente (h_e), calculando a espessura efetiva da camada betuminosa (h_{ef}) através da equação (3.6) que analisa a deflexão de projeto e as constantes I_1 e I_2 . Conhecida h_{ef} , o método adota a menor espessura entre h_e e h_{ef} , chamando h_{ef} corrigida a espessura efetiva. E ainda avalia o percentual de trincamento, desprezando h_{ef} caso FC2 seja maior que 30% e FC2 + FC3 sejam maiores que 80%.

Com os dados obtidos, Fonseca (2013) realizou os cálculos da espessura de reforço (HR) através da Equação (3.8).

Tabela 16 - Dimensionamento do reforço realizado por Fonseca (2013) pelo método DNER PRO 269/94

| Segmento | QUILÔMETRO | | Extensão (m) | Dc Benk. (0,01mm) | FC-2 (%) | FC-3 (%) | FC-2+ FC-3 | | he CBUQ (cm) | hcg (cm) | CBR Subleito | Silte (%) | Tipo | Constante | | Np USACE 10anos | Dadm (0,01mm) | he | REFORÇO | | | |
|----------|------------|---------|-----------------|-------------------------|-------------|-------------|---------------|--------|--------------|----------|--------------|-----------|----------|----------------|----------------|-----------------------|------------------|------|-------------|---------------------|----------------------|------------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | hef (cm) | hef corr (cm) | hef adot. (cm) | HR (cm) |
| | Inicial | Final | | | | | | (%) | | | | | Subleito | I ₁ | I ₂ | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 69 | 289,400 | 290,000 | 600 | 74 | 32,26 | 67,74 | 100,00 | 100,00 | 20,0 | 35,0 | 10,0 | 57,0 | II | 1 | 0 | 9,53E+07 | 44 | 20,0 | 6,2 | 6,2 | 0,0 | 18 |
| 87 | 309,500 | 311,200 | 1.700 | 81 | 45,35 | 54,65 | 100,00 | 100,00 | 8,0 | 35,0 | 10,0 | 57,0 | II | 1 | 0 | 9,53E+07 | 44 | 8,0 | 5,2 | 5,2 | 0,0 | 18 |
| 88 | 311,200 | 311,900 | 700 | 97 | 8,33 | 91,67 | 100,00 | 100,00 | 8,0 | 40,0 | 11,0 | 39,0 | II | 1 | 0 | 9,53E+07 | 44 | 8,0 | 3,6 | 3,6 | 0,0 | 18 |
| 91 | 324,000 | 325,900 | 1.900 | 68 | 88,54 | 11,46 | 100,00 | 100,00 | 9,0 | 35,0 | 16,0 | 56,0 | II | 1 | 0 | 8,37E+07 | 46 | 9,0 | 7,1 | 7,1 | 7,1 | 8 |
| 103 | 0,000 | 1,492 | 1.492 | 74 | 3,95 | 0,00 | 3,95 | 3,95 | 6,0 | 35,0 | 8,0 | 45,0 | II | 1 | 0 | 5,04E+07 | 50 | 6,0 | 6,1 | 6,0 | 6,0 | 7 |
| | 1,492 | 1,560 | 68 | Ponte s/ Rio Ceará | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 104 | 1,560 | 3,300 | 1.740 | 87 | 26,14 | 0,00 | 26,14 | 26,14 | 6,0 | 31,0 | 7,0 | 30,0 | II | 1 | 0 | 5,04E+07 | 50 | 6,0 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 10 |
| 105 | 3,300 | 4,100 | 800 | 66 | 2,44 | 0,00 | 2,44 | 2,44 | 6,0 | 30,0 | 9,0 | 39,0 | II | 1 | 0 | 5,04E+07 | 50 | 6,0 | 7,6 | 6,0 | 6,0 | 7 |
| 106 | 0,000 | 1,492 | 1.492 | 74 | 3,95 | 0,00 | 3,95 | 3,95 | 6,0 | 35,0 | 13,0 | 36,0 | II | 1 | 0 | 5,04E+07 | 50 | 6,0 | 6,2 | 6,0 | 6,0 | 7 |
| | 1,492 | 1,560 | 68 | Ponte s/ Rio Ceará | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 107 | 1,560 | 3,300 | 1.740 | 78 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 5,0 | 40,0 | 9,0 | 47,0 | II | 1 | 0 | 5,04E+07 | 50 | 5,0 | 5,5 | 5,0 | 5,0 | 9 |
| 108 | 3,300 | 4,100 | 800 | 75 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 5,0 | 30,0 | 19,0 | 55,0 | II | 1 | 0 | 5,04E+07 | 50 | 5,0 | 6,1 | 5,0 | 5,0 | 9 |

Fonte: Fonseca (2013)

4.2 Propostas de Dimensionamento Empregando Materiais Reciclados

Com as seções de referência e os tipos de materiais embasados em estudos anteriores, são realizados os dimensionamentos de reforço do revestimento com o uso de material asfáltico reciclado a partir das recomendações feitas pela norma DNER PRO 269/94. Alguns valores necessários para o dimensionamento da camada de reforço repetem-se para todos os autores pesquisados, estes valores são provenientes de informações dos trechos de pavimentos estudados por Fonseca (2013) e são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - Resultados obtidos a partir dos trechos estudados por Fonseca (2013)

| Trecho | Dc (0,01 mm) | he (cm) | Me _f (Mpa) | hc (cm) | N _p | Dadm (0,01 mm) |
|---------------------------|---------------|---------|-----------------------|---------|----------------|----------------|
| 69 (km 289,400 a 290,000) | 74,00 | 20,00 | 631,34 | 15,00 | 9,53E+07 | 44,46 |
| 87 (km 309,500 a 311,200) | 81,00 | 8,00 | 2367,36 | 6,00 | 9,53E+07 | 44,46 |
| 88 (km 311,200 a 311,900) | 97,00 | 8,00 | 1441,26 | 6,00 | 9,53E+07 | 44,46 |
| 91 (km 324,000 a 325,900) | 68,00 | 9,00 | 3131,50 | 7,00 | 8,37E+07 | 45,55 |
| 103 (km 0,000 a 1,492) | 74,00 | 6,00 | 4971,35 | 4,00 | 5,04E+07 | 50,11 |
| 104 (km 1,560 a 3,300) | 87,00 | 5,00 | 4352,01 | 3,00 | 5,04E+07 | 50,11 |
| 105 (km 3,300 a 4,100) | 66,00 | 5,00 | 9310,68 | 3,00 | 5,04E+07 | 50,11 |
| 106 (km 0,000 a 1,492) | 74,00 | 6,00 | 4971,35 | 4,00 | 5,04E+07 | 50,11 |
| 107 (km 1,560 a 3,300) | 78,00 | 5,00 | 5878,27 | 3,00 | 5,04E+07 | 50,11 |
| 108 (km 3,300 a 4,100) | 75,00 | 5,00 | 6548,51 | 3,00 | 5,04E+07 | 50,11 |

Fonte: Adaptado de Fonseca (2013)

A forma de como foram feitas as escolhas das espessuras de corte (h_c) para todos os trechos, teve como critério o fato de que h_c está ligada diretamente à deflexão de projeto característica do pavimento reciclado, e deve seguir as orientações dadas no procedimento DNER PRO 269/94, onde $h_c \geq 3,0$ cm e $h_c \leq h_e - 2$. Sendo assim, optou-se por espessuras de corte com a maior profundidade possível, respeitando os limites dados pela norma, para que empregasse o novo material a ser aplicado com baixo índice de trincas remanescente do pavimento antigo e menores deflexões, obtendo maior desempenho e consequentemente maior tempo de uso do mesmo. Vale mencionar que Fonseca (2013) em alguns trechos obteve valores de espessura de corte fora dos limites dados pelo procedimento DNER PRO 269/94,

pois para o dimensionamento, o autor seguiu as recomendações dadas pelo Programa CREMA 2ª Etapa.

4.2.1 David (2006)

Primeiramente é apresentado os cálculos de dimensionamento de reforço para o material de David (2006) para o segmento 69 (km 289,4 a 290), com o objetivo de mostrar como alcançou os resultados apresentados que serão mostrados mais à diante. Para os outros dimensionamentos considera-se o mesmo processo de cálculo.

Conforme Equação (3.9) é necessário que se obtenha a relação modular (μ) para posteriormente se obter a deflexão de projeto característica após a reciclagem.

$$\mu = \frac{MR_c}{M_{ef}} \quad (3.9)$$

Onde:

MR_c = módulo de resiliência da mistura betuminosa reciclada (kgf/cm²), determinada em laboratório.

M_{ef} = módulo de resiliência efetivo do revestimento existente (kgf/cm²), obtido pela Equação (3.10).

$$\log M_{ef} = 11,19 - 2,753 \log D_c - 1,714 \log h_e - 0,0053 l_1 + 0,2744 l_2 \quad (3.10)$$

D_c = deflexão de projeto = 74,00 (0,01 mm);

h_e = espessura da camada betuminosa existente = 20 cm;

l_1 e l_2 = constantes relacionadas com as características resilientes da 3ª camada da estrutura de referência. $l_1 = 1$ e $l_2 = 0$.

$$\log M_{ef} = 11,19 - 2,753 \log(74) - 1,714 \log(20) - 0,0053.(1) + 0,2744.(0)$$

$$\log M_{ef} = 3,809$$

$$M_{ef} = 10^{3,809} = 6.437,83 \text{ kgf/cm}^2 = 631,34 \text{ MPa}$$

A escolha do MR_c seguiu o critério de fixar um valor de teor de ligante, e escolher o valor de RT que mais se aproxime do valor mínimo de 0,65 MPa.

$$MR_c = 3064 \text{ MPa (Fresado+ARE-75, teor de ligante: 2,5\%)}$$

$$\mu = \frac{MR_c}{M_{ef}} = \frac{3064}{633,17} = 4,85$$

$MR_c = 5370$ MPa (Fresado+pó+RL-1C, teor de ligante: 2,5%)

$$\mu = \frac{MR_c}{M_{ef}} = \frac{5370}{633,17} = 8,51$$

Após o cálculo da relação modular, é realizado o cálculo da deflexão de projeto característica, através da Equação (3.11).

$$\overline{D}_c = D_c \left[\frac{h_c}{h_e} \left(\mu^{1/3} - 1 \right) + 1 \right]^{-1,324} \quad (3.11)$$

Onde:

D_c = deflexão de projeto = 74,00 (0,01 mm);

h_e = espessura da camada betuminosa existente = 20,00 cm;

h_c = espessura de corte = 15,00 cm;

\overline{D}_c = deflexão de projeto característica do pavimento reciclado correspondente à espessura h_c (0,01 mm).

Para a fresagem deste trecho, Fonseca (2013) considerou uma espessura de corte de 75% da área da seção, seguindo as orientações de catálogo CREMA 2ª ETAPA. Isto atende as condições dadas pelo procedimento DNER PRO 269/94, onde a espessura de corte é de 15 cm (75% de 20 cm).

\overline{D}_c para material (Fresado+ARE-75, teor de ligante: 2,5%)

$$\overline{D}_c = 74 \left[\frac{15}{20} \left(4,85^{1/3} - 1 \right) + 1 \right]^{-1,324} = 42,52 \text{ (0,01 mm)}$$

\overline{D}_c para material (Fresado+pó+RL-1C, teor de ligante: 2,5%)

$$\overline{D}_c = 74 \left[\frac{15}{20} \left(8,51^{1/3} - 1 \right) + 1 \right]^{-1,324} = 34,46 \text{ (0,01 mm)}$$

Como $\mu > 1,0$ para os dois tipos de materiais, o procedimento indica as seguintes etapas:

- Para $\overline{D}_c \leq D_{adm}$ pode ser utilizada mistura reciclada com a respectiva espessura de corte h_c ;

- Para $\overline{D}_c > D_{adm}$ dimensionar a camada de reforço considerando $D_c = \overline{D}_c$. Esta solução constitui uma alternativa de restauração mista, ou seja, reciclagem com corte de espessura h_c e recapeamento com espessura HR.

Onde:

D_{adm} = deflexão máxima permissível (0,01 mm), calculada através da Equação (3.7).

$$\log D_{adm} = 3,148 - 0,188 \log N_p \quad (3.7)$$

N_p = número de solicitações de eixo padrão de 8,2 tf, durante a vida do projeto.

$$N_p = 9,53 \times 10^7$$

$$\log D_{adm} = 3,148 - 0,188 \log(9,53 \times 10^7)$$

$$D_{adm} = 10^{1,648} = 44,46 \text{ (0,01 mm)}$$

- Para \overline{D}_c com material (Fresado+ARE-75, teor de ligante: 2,5%).

$$\overline{D}_c (42,52) < D_{adm} (44,46) \text{ (0,01 mm)}$$

A espessura da camada de reforço com mistura reciclada pode ser a mesma que a espessura de corte h_c .

$$HR = 15 \text{ cm}$$

O material estudado por David (2006) tem como finalidade o uso em base, sendo assim, foi realizado um dimensionamento contemplando o uso de material asfáltico reciclado e CA novo no reforço, para uma estrutura de maior resistência. No procedimento DNER PRO 269/94, é indicado que se HR estiver entre 12,5 cm a 25 cm, deve-se adotar espessura de reforço em camadas de pré-misturado e CA, respeitando a condição:

$$H_{pm} = 0,60HR$$

$$H_{CA} = HR - H_{pm}$$

Onde:

H_{pm} - espessura de pré-misturado, em cm;

H_{CA} - espessura de concreto asfáltico, em cm;

Desta forma usa-se 9 cm de reciclado ($H_{pm} = 0,60.15$) na parte de baixo do reforço e 6 cm de CA novo ($H_{CA} = 15 - 9$) para a parte de cima do reforço.

- Para \overline{D}_c com material (Fresado+pó+RL-1C, teor de ligante: 2,5%)

$$\overline{D}_c (34,46) < D_{adm} (44,46) (0,01 \text{ mm})$$

A obtenção de HR será da mesma forma realizada anteriormente para o material (Fresado+ARE-75, teor de ligante: 2,5%).

$$HR = 15 \text{ cm}$$

Nesse caso também optando pelo dimensionamento do reforço em duas camadas (9 cm de reciclado e 6 cm de CA novo).

A Tabela 18 apresenta os valores de dimensionamento da camada de reforço usando o material asfáltico reciclado (Fresado + ARE-75), e a Tabela 19 apresenta os valores para o material (Fresado + pó + RL-1C) estudados por David (2006) para todos os trechos levantados por Fonseca (2013).

Tabela 18 - Dimensionamento usando material fresado + ARE-75

| Autor | Mistura | Trecho | μ | \overline{D}_c (0,01 mm) | hef adot. (cm) | HR (cm) | HR Escolhido (cm) | Observação: |
|--------------|----------------|---------------------------|-------|----------------------------|----------------|---------|------------------------------------|--|
| DAVID (2006) | Fresado+ARE-75 | 69 (km 289,400 a 290,000) | 4,85 | 42,52 | 0,00 | 15 | 9 cm (Reciclado) + 6 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{D}_c \leq D_{adm} \rightarrow$ HR = espessura de corte. |
| | | 87 (km 309,500 a 311,200) | 1,29 | 74,30 | 0,00 | 18 | 10 cm (Reciclado) + 8 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{D}_c > D_{adm} \rightarrow$ Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando $D_c = \overline{D}_c$. |
| | | 88 (km 311,200 a 311,900) | 2,13 | 75,01 | 0,00 | 18 | 10 cm (Reciclado) + 8 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{D}_c > D_{adm} \rightarrow$ Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando $D_c = \overline{D}_c$. |
| | | 91 (km 324,000 a 325,900) | 0,98 | 68,51 | - | | | $\mu < 1, D_c > D_{adm} \rightarrow$ a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada. |
| | | 103 (km 0,000 a 1,492) | 0,62 | 84,99 | | | | |
| | | 104 (km 1,560 a 3,300) | 0,70 | 95,26 | | | | |
| | | 105 (km 3,300 a 4,100) | 0,33 | 86,64 | | | | |
| | | 106 (km 0,000 a 1,492) | 0,62 | 84,99 | | | | |
| | | 107 (km 1,560 a 3,300) | 0,52 | 91,99 | | | | |
| | | 108 (km 3,300 a 4,100) | 0,47 | 90,77 | | | | |

Fonte: O autor

Tabela 19 - Dimensionamento usando material fresado + pó + RL-1C

| Autor | Mistura | Trecho | μ | $\overline{D_c}$ (0,01 mm) | hef adot. (cm) | HR (cm) | HR Escolhido (cm) | Observação: |
|--------------|------------------|---------------------------|-------|----------------------------|----------------|---------|------------------------------------|--|
| DAVID (2006) | Fresado+pó+RL-1C | 69 (km 289,400 a 290,000) | 8,51 | 34,46 | 0,00 | 15 | 9 cm (Reciclado) + 6 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{D_c} \leq D_{adm} \rightarrow$ HR = espessura de corte. |
| | | 87 (km 309,500 a 311,200) | 2,27 | 61,22 | 0,00 | 18 | 10 cm (Reciclado) + 8 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{D_c} > D_{adm} \rightarrow$ Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando $D_c = \overline{D_c}$. |
| | | 88 (km 311,200 a 311,900) | 3,73 | 61,39 | 0,00 | 18 | 10 cm (Reciclado) + 8 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{D_c} > D_{adm} \rightarrow$ Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando $D_c = \overline{D_c}$. |
| | | 91 (km 324,000 a 325,900) | 1,71 | 56,31 | 0,00 | 17 | 10 cm (Reciclado) + 7 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{D_c} > D_{adm} \rightarrow$ Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando $D_c = \overline{D_c}$. |
| | | 103 (km 0,000 a 1,492) | 1,08 | 72,33 | 6,00 | 7 | 4 cm (Reciclado) + 3 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{D_c} > D_{adm} \rightarrow$ Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando $D_c = \overline{D_c}$. |
| | | 104 (km 1,560 a 3,300) | 1,23 | 82,23 | 5,00 | 9 | 5 cm (Reciclado) + 4 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{D_c} > D_{adm} \rightarrow$ Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando $D_c = \overline{D_c}$. |
| | | 105 (km 3,300 a 4,100) | 0,58 | 75,94 | 5,00 | - | - | $\mu < 1, D_c > D_{adm} \rightarrow$ a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada. |
| | | 106 (km 0,000 a 1,492) | 1,08 | 72,33 | 6,00 | 7 | 4 cm (Reciclado) + 3 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{D_c} > D_{adm} \rightarrow$ Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando $D_c = \overline{D_c}$. |
| | | 107 (km 1,560 a 3,300) | 0,91 | 79,88 | 5,00 | - | - | $\mu < 1, D_c > D_{adm} \rightarrow$ a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada. |
| | | 108 (km 3,300 a 4,100) | 0,82 | 78,99 | 5,00 | - | - | $\mu < 1, D_c > D_{adm} \rightarrow$ a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada. |

Fonte: O autor

Pode-se notar que pelo fato do MR_c do material (Fresado + ARE-75) ser baixo, apenas três trechos contém a relação $\mu > 1$, o que possibilita o dimensionamento da camada de reforço com uso do material asfáltico reciclado. Com esta condição de $\mu > 1$, têm-se duas opções de dimensionamento de HR:

1. Com $\overline{D_c} \leq D_{adm}$ o procedimento indica que pode ser adotado como espessura da camada de reforço do revestimento (HR) a mesma espessura da camada de corte (h_c).
2. Com $\overline{D_c} > D_{adm}$ o procedimento indica que pode ser adotado $D_c = \overline{D_c}$ para se calcular h_{ef} e posteriormente HR. Em casos em que h_{ef} seja maior que h_e , deve ser considerado $h_{ef} = h_e$, o valor de h_{ef} escolhido está simbolizado como h_{ef} adot. nas tabelas. Caso o valor de FC2 seja maior que 30% e FC2 + FC3 indicados na Tabela 16 sejam maiores que 80%, é conveniente adotar o valor de h_{ef} adot.= 0,00.

Para os trechos em que $\mu < 1$ e $D_c > D_{adm}$, o procedimento recomenda não usar material asfáltico reciclado na camada de reforço do pavimento pelo fato das deflexões serem altas e, conseqüentemente, acabar ocorrendo à diminuição da vida útil do pavimento.

Para o material (Fresado + pó + RL-1C) com MR_c de valor mais elevado, os valores de μ , em sua maioria, são maiores do que 1, indicando que este material pode ser usado como camada de reforço na camada de revestimento.

A escolha da divisão da camada de reforço em duas espessuras (Reciclado e CA novo) foi feita para que se possa ter uma real aplicação deste material como camada de reforço do revestimento, pois como citado anteriormente, o material estudado por David (2006) tem como objetivo o uso em camada de base de pavimento.

4.2.2 Dama (2003)

Os valores de dimensionamento usando o material asfáltico reciclado com espuma de asfalto estudados por Dama (2003) antes e depois de sua aplicação estão apresentados pelas Tabela 20 e Tabela 21.

Tabela 20 – Dimensionamento usando material fresado + filer + água + espuma de asfalto (antes da aplicação)

| Autor | Mistura | Trecho | μ | \overline{Dc} (0,01 mm) | hef adot. (cm) | HR (cm) | HR Escolhido (cm) | Observação: |
|-------------|---|---------------------------|-------|---------------------------|----------------|---------|------------------------------------|---|
| DAMA (2003) | Fresado + filer + água + espuma de asfalto (antes da aplicação) | 69 (km 289,400 a 290,000) | 5,46 | 40,71 | 0,00 | 15 | 9 cm (Reciclado) + 6 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{Dc} \leq D_{adm} \rightarrow$ HR = espessura de corte. |
| | | 87 (km 309,500 a 311,200) | 1,46 | 71,41 | 0,00 | 18 | 10 cm (Reciclado) + 8 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow$ Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando $Dc = \overline{Dc}$. |
| | | 88 (km 311,200 a 311,900) | 2,39 | 71,97 | 0,00 | 18 | 10 cm (Reciclado) + 8 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow$ Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando $Dc = \overline{Dc}$. |
| | | 91 (km 324,000 a 325,900) | 1,10 | 65,80 | 0,00 | 17 | 10 cm (Reciclado) + 7 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow$ Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando $Dc = \overline{Dc}$. |
| | | 103 (km 0,000 a 1,492) | 0,69 | 82,25 | - | - | - | $\mu < 1, Dc > D_{adm} \rightarrow$ a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada. |
| | | 104 (km 1,560 a 3,300) | 0,79 | 92,46 | | | | |
| | | 105 (km 3,300 a 4,100) | 0,37 | 84,37 | | | | |
| | | 106 (km 0,000 a 1,492) | 0,69 | 82,25 | | | | |
| | | 107 (km 1,560 a 3,300) | 0,59 | 89,40 | | | | |
| | | 108 (km 3,300 a 4,100) | 0,53 | 88,25 | | | | |

Fonte: O autor

Tabela 21 - Dimensionamento usando material fresado + filer + água + esp. de asfalto (depois da aplicação)

| Autor | Mistura | Trecho | μ | \overline{Dc} (0,01 mm) | hef adot. (cm) | HR (cm) | HR Escolhido (cm) | Observação: |
|-------------|--|---------------------------|-------|---------------------------|----------------|---------|------------------------------------|---|
| DAMA (2003) | Fresado + filer + água + espuma de asfalto (depois da aplicação) | 69 (km 289,400 a 290,000) | 6,37 | 38,44 | 0,00 | 15 | 9 cm (Reciclado) + 6 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{Dc} \leq D_{adm} \rightarrow$ HR = espessura de corte. |
| | | 87 (km 309,500 a 311,200) | 1,70 | 67,72 | 0,00 | 18 | 10 cm (Reciclado) + 8 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow$ Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando $Dc = \overline{Dc}$. |
| | | 88 (km 311,200 a 311,900) | 2,79 | 68,14 | 0,00 | 18 | 10 cm (Reciclado) + 8 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow$ Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando $Dc = \overline{Dc}$. |
| | | 91 (km 324,000 a 325,900) | 1,28 | 62,36 | 0,00 | 17 | 10 cm (Reciclado) + 7 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow$ Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando $Dc = \overline{Dc}$. |
| | | 103 (km 0,000 a 1,492) | 0,81 | 78,71 | - | - | - | $\mu < 1, Dc > D_{adm} \rightarrow$ a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada. |
| | | 104 (km 1,560 a 3,300) | 0,92 | 88,84 | | | | |
| | | 105 (km 3,300 a 4,100) | 0,43 | 81,40 | | | | |
| | | 106 (km 0,000 a 1,492) | 0,81 | 78,71 | | | | |
| | | 107 (km 1,560 a 3,300) | 0,68 | 86,04 | | | | |
| | | 108 (km 3,300 a 4,100) | 0,61 | 84,98 | | | | |

Fonte: O autor

Pelo fato do material ter como intuito o uso em camada de base, os resultados obtidos indicam que existe a possibilidade de usar o material reciclado com espuma de asfalto estudado por Dama (2003) como camada de reforço do revestimento, mas somente para camadas mais espessas, desde que se realize a aplicação de um material asfáltico novo junto ao reciclado.

Quanto ao dimensionamento considerando a diferença entre as propriedades mecânicas entre os materiais antes e depois de sua aplicação, houve uma pequena variação no MR, o que resultou num mesmo valor de dimensionamento para os dois casos.

4.2.3 Luvizão (2014)

Os valores de dimensionamento usando material asfáltico reciclado com adição de cimento estudado por Luvizão (2014) são apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 - Dimensionamento usando material fresado + cimento + pó de pedra

| Autor | Mistura | Trecho | μ | $\overline{D_c}$ (0,01 mm) | hef adot. (cm) | HR (cm) | HR Escolhido (cm) | Observação: |
|----------------|---------------------------------|---------------------------|-------|----------------------------|----------------|---------|------------------------------------|--|
| LUVIZÃO (2014) | Fresado + cimento + pó de pedra | 69 (km 289,400 a 290,000) | 2,14 | 57,04 | 0,00 | 18 | 10 cm (Reciclado) + 8 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{D_c} > D_{adm} \rightarrow$ Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando $D_c = \overline{D_c}$ |
| | | 87 (km 309,500 a 311,200) | 0,57 | 97,02 | - | - | - | $\mu < 1, D_c > D_{adm} \rightarrow$ a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada. |
| | | 88 (km 311,200 a 311,900) | 0,94 | 99,02 | | | | |
| | | 91 (km 324,000 a 325,900) | 0,43 | 89,83 | | | | |
| | | 103 (km 0,000 a 1,492) | 0,27 | 105,42 | | | | |
| | | 104 (km 1,560 a 3,300) | 0,31 | 115,65 | | | | |
| | | 105 (km 3,300 a 4,100) | 0,15 | 102,81 | | | | |
| | | 106 (km 0,000 a 1,492) | 0,27 | 105,42 | | | | |
| | | 107 (km 1,560 a 3,300) | 0,23 | 110,67 | | | | |
| | | 108 (km 3,300 a 4,100) | 0,21 | 108,85 | | | | |

Fonte: O autor

Fica evidente que o material reciclado estudado por Luvizão (2014) não tem como função o seu uso em camada de reforço de revestimento para estes trechos em questão, devido ao seu baixo MR, sendo mais apropriado para camadas de base e sub-base. Apenas um trecho foi viável para a aplicação deste material, isto ocorre pelo fato do MR do trecho deteriorado ter valor próximo ao do MR do material reciclado, e também por ser uma camada de maior espessura.

4.2.4 Zubaran (2014)

Os valores de dimensionamento usando o material asfáltico reciclado estudado por Zubaran (2014) são apresentados na Tabela 23 e Tabela 24.

Tabela 23 - Dimensionamento usando material fresado (50%) + CAP 30/45 (20%) + AR-75 (80%)

| Autor | Mistura | Trecho | μ | \overline{Dc} (0,01 mm) | hef adot. (cm) | HR (cm) | HR Escolhido (cm) | Observação: |
|----------------|---|---------------------------|-------|---------------------------|----------------|---------|-------------------|---|
| ZUBARAN (2014) | Fresado (50%) + CAP 30/45 (20%) + AR-75 (80%) | 69 (km 289,400 a 290,000) | 16,71 | 26,57 | 0,00 | 15 | 15 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} \leq Dadm \rightarrow HR = \text{espessura de corte.}$ |
| | | 87 (km 309,500 a 311,200) | 4,46 | 48,02 | 0,00 | 18 | 18 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| | | 88 (km 311,200 a 311,900) | 7,32 | 47,81 | 0,00 | 18 | 18 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| | | 91 (km 324,000 a 325,900) | 3,37 | 44,05 | 0,00 | 17 | 17 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} \leq Dadm \rightarrow HR = \text{espessura de corte.}$ |
| | | 103 (km 0,000 a 1,492) | 2,12 | 58,77 | 6,00 | 7 | 7 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| | | 104 (km 1,560 a 3,300) | 2,42 | 67,89 | 5,00 | 9 | 9 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| | | 105 (km 3,300 a 4,100) | 1,13 | 63,83 | 5,00 | 9 | 9 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| | | 106 (km 0,000 a 1,492) | 2,12 | 58,77 | 6,00 | 7 | 7 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| | | 107 (km 1,560 a 3,300) | 1,79 | 66,41 | 5,00 | 9 | 9 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| | | 108 (km 3,300 a 4,100) | 1,61 | 65,84 | 5,00 | 9 | 9 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |

Fonte: O autor

Tabela 24 - Dimensionamento usando material fresado (50%) + CAP 30/45 (50%) + AR-75 (50%)

| Autor | Mistura | Trecho | μ | \overline{Dc} (0,01 mm) | hef adot. (cm) | HR (cm) | HR Escolhido (cm) | Observação: |
|----------------|---|---------------------------|-------|---------------------------|----------------|---------|-------------------|---|
| ZUBARAN (2014) | Fresado (50%) + CAP 30/45 (50%) + AR-75 (50%) | 69 (km 289,400 a 290,000) | 20,12 | 24,71 | 0,00 | 15 | 15 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} \leq Dadm \rightarrow HR = \text{espessura de corte.}$ |
| | | 87 (km 309,500 a 311,200) | 5,36 | 44,84 | 0,00 | 18 | 18 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| | | 88 (km 311,200 a 311,900) | 8,81 | 44,57 | 0,00 | 18 | 18 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| | | 91 (km 324,000 a 325,900) | 4,06 | 41,11 | 0,00 | 17 | 17 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} \leq Dadm \rightarrow HR = \text{espessura de corte.}$ |
| | | 103 (km 0,000 a 1,492) | 2,55 | 55,38 | 6,00 | 7 | 7 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| | | 104 (km 1,560 a 3,300) | 2,92 | 64,24 | 5,00 | 9 | 9 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| | | 105 (km 3,300 a 4,100) | 1,36 | 60,69 | 5,00 | 9 | 9 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| | | 106 (km 0,000 a 1,492) | 2,55 | 55,38 | 6,00 | 7 | 7 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| | | 107 (km 1,560 a 3,300) | 2,16 | 62,96 | 5,00 | 9 | 9 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| | | 108 (km 3,300 a 4,100) | 1,94 | 62,46 | 5,00 | 9 | 9 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |

Fonte: O autor

Pelo fato do material estudado por Zubaran (2014) conter valores elevados de MR, os trechos em sua maioria obtiveram valores aceitáveis para espessuras da camada de reforço, não acarretando na necessidade de se usar CA novo na seção. Os valores de RT em comparação com outros materiais são mais elevados, sendo assim, entende-se que este material reciclado é propício para o uso em camada de reforço do revestimento.

4.2.5 Lima (2003)

Os valores de dimensionamento usando material asfáltico reciclado estudado por Lima (2003) são apresentados na Tabela 25 e Tabela 26.

Tabela 25 - Dimensionamento usando material fresado (30%) + CAP 50/60 + AR-75

| Autor | Mistura | Trecho | μ | \overline{Dc} (0,01 mm) | hef adot. | HR (cm) | HR Escolhido (cm) | Observação: |
|-------------|-----------------------------------|---------------------------|-------|---------------------------|-----------|---------|-------------------|---|
| LIMA (2003) | Fresado (30%) + CAP 50/60 + AR-75 | 69 (km 289,400 a 290,000) | 11,92 | 30,29 | 0,00 | 15 | 15 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} \leq Dadm \rightarrow HR = \text{espessura de corte.}$ |
| | | 87 (km 309,500 a 311,200) | 3,18 | 54,30 | 0,00 | 18 | 18 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| | | 88 (km 311,200 a 311,900) | 5,22 | 54,25 | 0,00 | 18 | 18 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| | | 91 (km 324,000 a 325,900) | 2,40 | 49,87 | 0,00 | 17 | 17 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| | | 103 (km 0,000 a 1,492) | 1,51 | 65,33 | 6,00 | 7 | 7 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| | | 104 (km 1,560 a 3,300) | 1,73 | 74,87 | 5,00 | 9 | 9 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| | | 105 (km 3,300 a 4,100) | 0,81 | 69,77 | - | - | - | $\mu < 1, Dc > Dadm \rightarrow \text{a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada.}$ |
| | | 106 (km 0,000 a 1,492) | 1,51 | 65,33 | 6,00 | 7 | 7 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| | | 107 (km 1,560 a 3,300) | 1,28 | 72,99 | 5,00 | 9 | 9 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| | | 108 (km 3,300 a 4,100) | 1,15 | 72,27 | 5,00 | 9 | 9 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |

Fonte: O autor

Tabela 26 - Dimensionamento usando material fresado (50%) + CAP 50/60 + AR-75

| Autor | Mistura | Trecho | μ | \overline{Dc} (0,01 mm) | hef adot. | HR (cm) | HR Escolhido (cm) | Observação: |
|-------------|-----------------------------------|---------------------------|-------|---------------------------|-----------|---------|-------------------|---|
| LIMA (2003) | Fresado (50%) + CAP 50/60 + AR-75 | 69 (km 289,400 a 290,000) | 14,10 | 28,39 | 0,00 | 15 | 15 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} \leq Dadm \rightarrow HR = \text{espessura de corte.}$ |
| | | 87 (km 309,500 a 311,200) | 3,76 | 51,10 | 0,00 | 18 | 18 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| | | 88 (km 311,200 a 311,900) | 6,18 | 50,96 | 0,00 | 18 | 18 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| | | 91 (km 324,000 a 325,900) | 2,84 | 46,90 | 0,00 | 17 | 17 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| | | 103 (km 0,000 a 1,492) | 1,79 | 62,01 | 6,00 | 7 | 7 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| | | 104 (km 1,560 a 3,300) | 2,05 | 71,35 | 5,00 | 9 | 9 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| | | 105 (km 3,300 a 4,100) | 0,96 | 66,79 | - | - | - | $\mu < 1, Dc > Dadm \rightarrow \text{a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada.}$ |
| | | 106 (km 0,000 a 1,492) | 1,79 | 62,01 | 6,00 | 7 | 7 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| | | 107 (km 1,560 a 3,300) | 1,51 | 69,67 | 5,00 | 9 | 9 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| | | 108 (km 3,300 a 4,100) | 1,36 | 69,03 | 5,00 | 9 | 9 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |

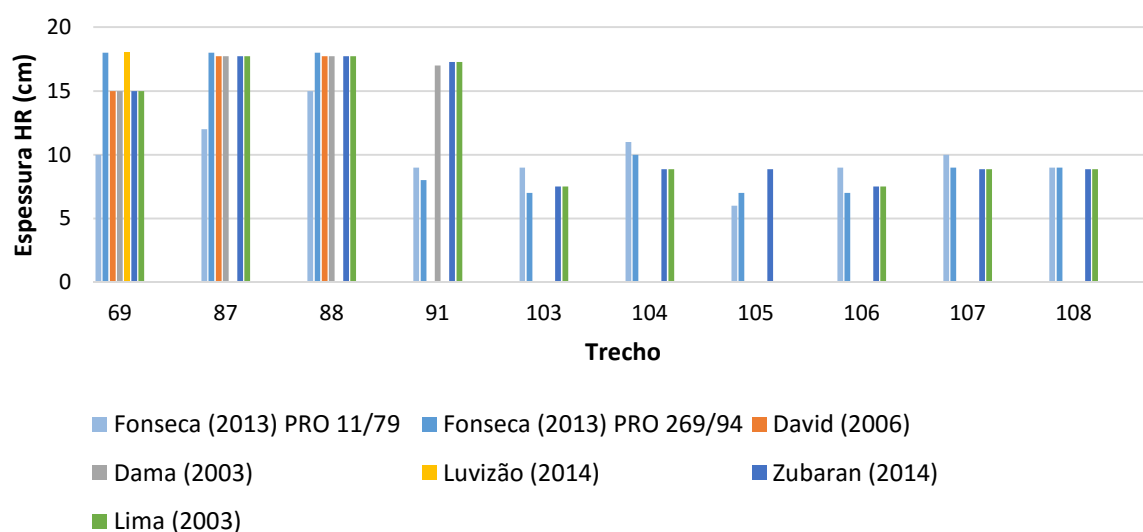
Fonte: O autor

De forma similar a Zubaran (2014), os valores de RT e MR obtidos por Lima (2003) são altos, promovendo espessuras de camada de reforço do revestimento com valores aceitáveis ao que são requisitadas para este trabalho. Diferenciando basicamente dos valores de deflexão promovidos pelo CAP 50/60 em relação ao CAP 30/45 estudados por Zubaran (2014).

4.3 Comparação de Resultados de Dimensionamento entre o Material Novo e o Material Reciclado

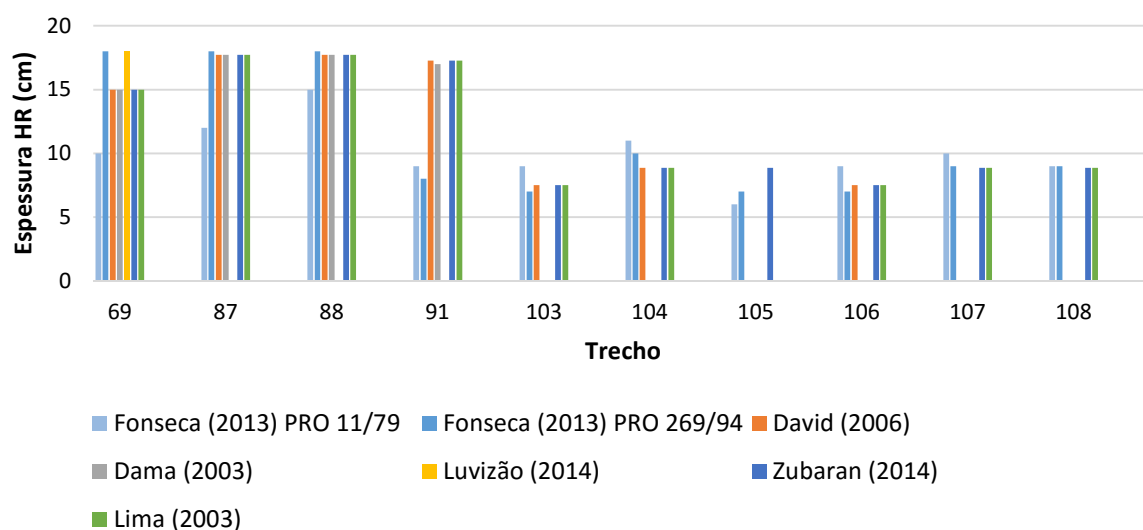
Após a determinação das espessuras de reforço do revestimento, é realizada uma comparação entre os dimensionamentos conforme Figura 29 e Figura 30, considerando HR com material novo para os trechos levantados por Fonseca (2013), e HR com os materiais reciclados obtidos de outros autores.

Figura 29 - Comparação de dimensionamento (Mistura 1)



Fonte: O autor

Figura 30 - Comparação de dimensionamento (Mistura 2)



Fonte: O autor

Pode-se notar que as espessuras de reforço de revestimento dimensionadas pelo método DNER PRO 11/79, para os quatro primeiros trechos, são bem menores se comparadas com as espessuras dimensionadas pelo método DNER PRO 269/94. Isso se deve ao fato deste método considerar apenas a deflexão e o número N como parâmetros para o dimensionamento. Para os demais trechos, a espessura HR está com valores próximos aos do método DNER PRO 269/94.

Considerando apenas o dimensionamento pelo método DNER PRO 269/94, as espessuras para os três primeiros trechos são praticamente equivalentes tanto para o material novo quanto para o material reciclado. Isso se deve ao fato de que o pavimento para estes trechos apresenta trincas FC-2 e FC-3 maiores que 80%. Observa-se que para o trecho 91 pelo método DNER PRO 269/94 Fonseca (2013) acabou não considerando este critério, acarretando na escolha de um h_{ef} diferente de zero, consequentemente um HR muito menor quando comparado com os de materiais reciclados. Para o material de Luvizão (2014) o único trecho em que se pode utiliza-lo como camada de reforço do revestimento foi o trecho 69, porém é entendido que este material não tem como utilidade o seu uso em camada de revestimento.

Os quatro materiais apropriados para a utilização em camada de reforço do revestimento são os de David (2006), Dama (2003), Zubaran (2014) e Lima (2003). Para David (2006) e Dama (2003) por serem materiais de menor MR, a sua utilização acaba sendo apropriada apenas quando se utiliza CA novo como parte da camada de reforço. Em alguns trechos devido a estas divisões de camadas, ocorrem HR menores que 5 cm, o que pode implicar na impossibilidade de executá-los na prática.

Desta forma, os materiais que podem de fato serem utilizados como camada de reforço de revestimento, promovendo desempenho mecânico e principalmente longo tempo de vida útil, são os de Zubaran (2014) e Lima (2003), pois são materiais que recebem processos de reciclagem a quente em usina, com adição de agente rejuvenescedor AR-75, juntamente com outros materiais novos em sua composição, diferenciando basicamente nas misturas o tipo de CAP utilizado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

5.1 Considerações Finais

A proposta deste trabalho foi fundamentada na busca de soluções ambientalmente sustentáveis para a área de pavimentação rodoviária, para que se contribua com a diminuição do impacto ambiental sofrido pela ação da extração em jazidas de recursos naturais e destinação final de resíduos em bota-foras. Uma das formas de contribuir para a preservação do meio ambiente é através da reciclagem dos resíduos provenientes do pavimento deteriorado, e a reutilização destes materiais no novo revestimento a ser executado. Dentre as opções para o uso destes materiais reciclados no novo pavimento, este trabalho focou na camada de reforço do revestimento, usando principalmente as recomendações dadas pelo procedimento normativo DNER PRO 269/94 para a realização do dimensionamento.

Após a realização de todos os dimensionamentos utilizando materiais asfálticos reciclados, foram obtidos valores de espessura de camada de reforço do revestimento para todos os trechos estudados por Fonseca (2013). Estas espessuras possuem uma grande variação dependendo do método escolhido para o dimensionamento. Por meio do método DNER PRO 11/79 os valores de espessuras são baixos, pois o mesmo considera apenas a deflexão de projeto e dados de tráfego como critério para o dimensionamento, não considerando o grau de trincamento do revestimento como parte do processo, propriedades mecânicas do concreto asfáltico aplicado, propriedades das camadas de suporte subjacentes ao revestimento, entre outros. Para os trechos em que o grau de trincamento foi baixo, as espessuras de reforço do revestimento de acordo com o procedimento DNER PRO 11/79 foram coerentes quando comparadas com a do procedimento DNER PRO 269/94. Pode-se afirmar que os trechos 69, 87 e 91 para o trecho DNER PRO 11/79 não correspondem a uma espessura de reforço do revestimento adequada, o que pode acarretar em uma diminuição de sua vida útil de projeto.

Levando em consideração o procedimento DNER PRO 269/94 como método mais apropriado para o dimensionamento de camada de reforço do revestimento, conclui-se que dentre os materiais estudados, o único que não pode ser usado foi o (fresado + cimento + pó de pedra) estudado por Luvizão (2014), devido ao baixo valor de MR. Os outros materiais asfálticos reciclados podem ser usados, porém alguns fatores podem interferir no seu uso, entre eles camadas de reforço do revestimento divididas em duas camadas com material novo e reciclado. Esta solução se aplica para os materiais (fresado + ARE-75; fresado + pó + RL-

1C) e (fresado + filer + água + espuma de asfalto (antes da aplicação); fresado + filer + água + espuma de asfalto (depois da aplicação)) estudados por David (2006) e Dama (2003), onde o MR para estes materiais para alguns trechos está próximo ao MR efetivo do pavimento referência. A necessidade de usar CA novo junto ao CA reciclado na seção da camada de reforço para alguns trechos implica em espessuras abaixo de 5 cm, o que impossibilita a sua execução.

A viabilidade do uso de material asfáltico reciclado na camada de reforço do revestimento é para os materiais (fresado (50%) + CAP 30/45 (20%) + AR-75 (80%); fresado (50%) + CAP 30/45 (50%) + AR-75 (50%)) e (fresado (30%) + CAP 50/60 + AR-75; fresado (50%) + CAP 50/60 + AR-75) estudados por Zubaran (2014) e Lima (2003). Estes materiais recebem processo de reciclagem a quente com adição de agente rejuvenescedor, o que proporciona a volta de suas propriedades viscoelásticas, necessárias para um bom desempenho mecânico de um pavimento flexível.

5.2 Recomendações para Trabalhos Futuros

Um dos aspectos mais importantes para que se ocorra a implantação e execução de um pavimento rodoviário é o seu custo financeiro de realização. Desta forma, é sugerido que se faça uma comparação de orçamento entre o uso de material novo e uso de material reciclado para a aplicação nas camadas de reforço do revestimento estudadas neste trabalho.

É sugerida a busca de outros materiais asfálticos reciclados além dos estudados neste trabalho, para que se tenha uma gama maior de dimensionamentos e, posteriormente, realizar uma análise dos materiais mais aptos para o problema em questão.

Também se podem pesquisar formas de restauração de camadas subjacentes ao revestimento, usando material asfáltico reciclado, assim como o uso de outros materiais reciclados, como por exemplo, resíduos provenientes da construção civil.

REFERÊNCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS AASHTO T 283-02 - **resistance of compacted bituminous mixture to moisture induced damage**. USA, 2002.

ARIP SUSANTO OFFICIAL WEBSITE [Internet] - http://www.aripsusanto.com/p/blog-page_14.html - Acesso em 30/05/2016.

ASPHALT SERVICES, INC. [Internet] - <http://asphaltservicesinc.com/services/milling> - Acesso em 08/04/2016.

ASPHALT RECYCLING & RECLAIMING ASSOCIATION (ARRA) - **Cold recycling, Asphalt Recycling & Reclaiming Association** - <http://www.arra.org/resources/industry-info/industry-segments/cold-recycling/> acesso em 09/09/2015.

ASPHALT RECYCLING & RECLAIMING ASSOCIATION (ARRA) - **Hot in place recycling, Asphalt Recycling & Reclaiming Association** - <http://www.arra.org/resources/industry-info/industry-segments/hot-in-place-recycling/> acesso em 09/09/2015.

ASPHALT RECYCLING & RECLAIMING ASSOCIATION (ARRA) – **Hot recycling. Asphalt Recycling & Reclaiming Association** - <http://www.arra.org/resources/industry-info/industry-segments/hot-recycling/> acesso em 09/09/2015.

BALBO, J. T. - **Pavimentação asfáltica: Materiais, projetos e restauração. Oficina de Textos**. São Paulo, 2007.

BERNUCCI, L. L. B., et al. - **Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros**. 1ºed. Programa Asfalto nas Universidades, Petrobras Distribuidora S.A., 2008.

BONFIM, V. - **Fresagem de Pavimentos Asfálticos**. 3 ed., São Paulo, Fazendo Arte Editora, 2007.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - **DNER ES 318/97 - Concreto Betuminoso Reciclado a Quente na Usina**. Rio de Janeiro. 1997.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - **DNER ES 319/97 - Concreto Betuminoso Reciclado a Quente no Local**. Rio de Janeiro. 1997.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - **DNER ME 024/94 - Pavimento. Determinação das deflexões pela viga Benkelman**. Rio de Janeiro. 1979.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - **DNER PRO 10/79 - Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis**. Rio de Janeiro. 1997.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - **DNER PRO 11/79 - Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis**. Rio de Janeiro. 1979.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - **DNER PRO 269/94 - Projeto de restauração de pavimentos flexíveis**. Rio de Janeiro. 1994.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - **DNER ME 138/94 - Misturas Betuminosas - determinação da resistência à tração por compressão diametral**. Rio de Janeiro. 1977.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – **DNIT 005/2003 - TER - Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos**, Rio de Janeiro, 2003.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – **DNIT 007/2003 - PRO - Levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semi-rígidos para gerencia de pavimentos e estudos e projetos**, Rio de Janeiro, 2003.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – **Manual de Projeto e Práticas Operacionais para Segurança nas Rodovias**, Rio de Janeiro, 2010, 280p. (IPR. Publ., 741).

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**, Rio de Janeiro, 2006, 310p. (IPR. Publ., 720).

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - **DNIT – ES 031/2006 - Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2006.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - **DNIT - ME 133/94 – Misturas betuminosas – determinação do módulo de resiliência**. Rio de Janeiro, 1994.

COSTA, C., PINTO, S. - **O Uso de Reciclagem de Pavimentos como Alternativa para o Desenvolvimento Sustentável em Obras Rodoviárias no Brasil**, 2011.

DAMA, MARCELO ARCHANJO - **Análise de comportamento da camada reciclada com espuma de asfalto na rodovia BR-290/RS**, Porto Alegre, 2003.

DAVID, DANIELA DE - **Misturas asfálticas recicladas a frio: estudo em laboratório utilizando emulsão e agente de reciclagem emulsionado**, Porto Alegre, 2006.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO - **DER/SP – IP-DE-P00/002 – Projeto de Restauração de Pavimento**, 2006.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION – FHWA, 1997 - **Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments**. Disponível em <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/recycling/98042/> acesso em 09/09/2015.

FONSECA, LUIZ FELIPE DA SILVA DA - **Análise das Soluções de Pavimentação do Programa CREMA 2ª Etapa do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte**, Rio de Janeiro, 2013.

LIMA, ANDRÉ THEOPHILO - **Caracterização Mecânica de Misturas Asfálticas Recicladas a Quente**. Fortaleza, 2003.

LUVIZÃO, GISLAINE - **Avaliação do desempenho da reciclagem na rodovia SC 355: caracterização da mistura reciclada e avaliação estrutural de segmentos monitorados executados**, Florianópolis, 2014.

NASCIMENTO, MARIA DAS VITÓRIAS DO - **Estudo do Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas Recicladas**, Campina Grande, 2011.

NORMA BRASILEIRA NBR 15617 – **Misturas Asfálticas: Determinação do Dano por Umidade Induzida**, 2011.

RODRIGUES, R.M. **Engenharia de pavimentos – Parte II – gerência de pavimentos**. Centro Técnico Espacial. Instituto Tecnológico de Aeronáutica – Divisão de engenharia de infraestrutura aeronáutica, 2003.

SACHET, TAÍS - **Controle Tecnológico de Obras Rodoviárias Envolvendo a Reciclagem In Situ de Bases Granulares de Pavimentos Asfálticos**. 2007.

WIRTGEN - **Manual de reciclagem a frio**. 2ª ed., 2004.

ZUBARAN, MARCELO - **Avaliação do comportamento de misturas asfálticas recicladas mornas em laboratório e usina de asfalto**, Rio de Janeiro, 2014.

APÊNDICE – Tabelas de cálculo de dimensionamento da camada de reforço do revestimento para todos os autores estudados.

Tabela 27 - Dimensionamento usando o material de David (2006) Parte 1

| Autor | Trecho | Mistura | Teor de Ligante (%) | Dc (0,01 mm) | he (cm) | I1 | I2 |
|--------------|---------------------------|------------------|---------------------|---------------|---------|----|----|
| DAVID (2006) | 69 (km 289,400 a 290,000) | Fresado+ARE-75 | 2,5 | 74,00 | 20,00 | 1 | 0 |
| | | Fresado+pó+RL-1C | 2,5 | 74,00 | 20,00 | 1 | 0 |
| | 87 (km 309,500 a 311,200) | Fresado+ARE-75 | 2,5 | 81,00 | 8,00 | 1 | 0 |
| | | Fresado+pó+RL-1C | 2,5 | 81,00 | 8,00 | 1 | 0 |
| | 88 (km 311,200 a 311,900) | Fresado+ARE-75 | 2,5 | 97,00 | 8,00 | 1 | 0 |
| | | Fresado+pó+RL-1C | 2,5 | 97,00 | 8,00 | 1 | 0 |
| | 91 (km 324,000 a 325,900) | Fresado+ARE-75 | 2,5 | 68,00 | 9,00 | 1 | 0 |
| | | Fresado+pó+RL-1C | 2,5 | 68,00 | 9,00 | 1 | 0 |
| | 103 (km 0,000 a 1,492) | Fresado+ARE-75 | 2,5 | 74,00 | 6,00 | 1 | 0 |
| | | Fresado+pó+RL-1C | 2,5 | 74,00 | 6,00 | 1 | 0 |
| | 104 (km 1,560 a 3,300) | Fresado+ARE-75 | 2,5 | 87,00 | 5,00 | 1 | 0 |
| | | Fresado+pó+RL-1C | 2,5 | 87,00 | 5,00 | 1 | 0 |
| | 105 (km 3,300 a 4,100) | Fresado+ARE-75 | 2,5 | 66,00 | 5,00 | 1 | 0 |
| | | Fresado+pó+RL-1C | 2,5 | 66,00 | 5,00 | 1 | 0 |
| | 106 (km 0,000 a 1,492) | Fresado+ARE-75 | 2,5 | 74,00 | 6,00 | 1 | 0 |
| | | Fresado+pó+RL-1C | 2,5 | 74,00 | 6,00 | 1 | 0 |
| | 107 (km 1,560 a 3,300) | Fresado+ARE-75 | 2,5 | 78,00 | 5,00 | 1 | 0 |
| | | Fresado+pó+RL-1C | 2,5 | 78,00 | 5,00 | 1 | 0 |
| | 108 (km 3,300 a 4,100) | Fresado+ARE-75 | 2,5 | 75,00 | 5,00 | 1 | 0 |
| | | Fresado+pó+RL-1C | 2,5 | 75,00 | 5,00 | 1 | 0 |

Fonte: O autor

Tabela 28 - Dimensionamento usando o material de David (2006) Parte 2

| Mef (Mpa) | MRC (Mpa) | μ | hc (cm) | \overline{Dc} (0,01 mm) | Np | Dadm (0,01 mm) | FC-2 (%) | FC-3 (%) | FC-2 + FC-3 (%) |
|-----------|-----------|-------|---------|---------------------------|----------|----------------|----------|----------|-----------------|
| 631,34 | 3064 | 4,85 | 15,00 | 42,52 | 9,53E+07 | 44,46 | 32,26 | 67,74 | 100,00 |
| 631,34 | 5370 | 8,51 | 15,00 | 34,46 | 9,53E+07 | 44,46 | 32,26 | 67,74 | 100,00 |
| 2367,36 | 3064 | 1,29 | 6,00 | 74,30 | 9,53E+07 | 44,46 | 45,35 | 54,65 | 100,00 |
| 2367,36 | 5370 | 2,27 | 6,00 | 61,22 | 9,53E+07 | 44,46 | 45,35 | 54,65 | 100,00 |
| 1441,26 | 3064 | 2,13 | 6,00 | 75,01 | 9,53E+07 | 44,46 | 8,33 | 91,67 | 100,00 |
| 1441,26 | 5370 | 3,73 | 6,00 | 61,39 | 9,53E+07 | 44,46 | 8,33 | 91,67 | 100,00 |
| 3131,50 | 3064 | 0,98 | 7,00 | 68,51 | 8,37E+07 | 45,55 | 88,54 | 11,46 | 100,00 |
| 3131,50 | 5370 | 1,71 | 7,00 | 56,31 | 8,37E+07 | 45,55 | 88,54 | 11,46 | 100,00 |
| 4971,35 | 3064 | 0,62 | 4,00 | 84,99 | 5,04E+07 | 50,11 | 3,95 | 0,00 | 3,95 |
| 4971,35 | 5370 | 1,08 | 4,00 | 72,33 | 5,04E+07 | 50,11 | 3,95 | 0,00 | 3,95 |
| 4352,01 | 3064 | 0,70 | 3,00 | 95,26 | 5,04E+07 | 50,11 | 26,14 | 0,00 | 26,14 |
| 4352,01 | 5370 | 1,23 | 3,00 | 82,23 | 5,04E+07 | 50,11 | 26,14 | 0,00 | 26,14 |
| 9310,68 | 3064 | 0,33 | 3,00 | 86,64 | 5,04E+07 | 50,11 | 2,44 | 0,00 | 2,44 |
| 9310,68 | 5370 | 0,58 | 3,00 | 75,94 | 5,04E+07 | 50,11 | 2,44 | 0,00 | 2,44 |
| 4971,35 | 3064 | 0,62 | 4,00 | 84,99 | 5,04E+07 | 50,11 | 3,95 | 0,00 | 3,95 |
| 4971,35 | 5370 | 1,08 | 4,00 | 72,33 | 5,04E+07 | 50,11 | 3,95 | 0,00 | 3,95 |
| 5878,27 | 3064 | 0,52 | 3,00 | 91,99 | 5,04E+07 | 50,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 5878,27 | 5370 | 0,91 | 3,00 | 79,88 | 5,04E+07 | 50,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 6548,51 | 3064 | 0,47 | 3,00 | 90,77 | 5,04E+07 | 50,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 6548,51 | 5370 | 0,82 | 3,00 | 78,99 | 5,04E+07 | 50,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Fonte: O autor

Tabela 29 - Dimensionamento usando o material de David (2006) Parte 3

| hef (cm) | hef adot (cm) | HR (cm) | HR Escolhido (cm) | Observação: |
|----------|---------------|---------|------------------------------------|--|
| 0,00 | 0,00 | 15 | 9 cm (Reciclado) + 6 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{Dc} \leq D_{adm} \rightarrow HR = \text{espessura de corte.}$ |
| 0,00 | 0,00 | 15 | 9 cm (Reciclado) + 6 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{Dc} \leq D_{adm} \rightarrow HR = \text{espessura de corte.}$ |
| 0,00 | 0,00 | 18 | 10 cm (Reciclado) + 8 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 0,00 | 0,00 | 18 | 10 cm (Reciclado) + 8 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 0,00 | 0,00 | 18 | 10 cm (Reciclado) + 8 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 0,00 | 0,00 | 18 | 10 cm (Reciclado) + 8 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 0,00 | 0,00 | - | - | $\mu < 1, Dc > D_{adm} \rightarrow \text{a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada.}$ |
| 0,00 | 0,00 | 17 | 10 cm (Reciclado) + 7 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 4,74 | 4,74 | - | - | $\mu < 1, Dc > D_{adm} \rightarrow \text{a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada.}$ |
| 6,41 | 6,00 | 7 | 4 cm (Reciclado) + 3 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 3,72 | 3,72 | - | - | $\mu < 1, Dc > D_{adm} \rightarrow \text{a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada.}$ |
| 5,06 | 5,00 | 9 | 5 cm (Reciclado) + 4 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 4,56 | 4,56 | - | - | $\mu < 1, Dc > D_{adm} \rightarrow \text{a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada.}$ |
| 5,87 | 5,00 | - | - | $\mu < 1, Dc > D_{adm} \rightarrow \text{a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada.}$ |
| 4,74 | 4,74 | - | - | $\mu < 1, Dc > D_{adm} \rightarrow \text{a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada.}$ |
| 6,41 | 6,00 | 7 | 4 cm (Reciclado) + 3 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 4,02 | 4,02 | - | - | $\mu < 1, Dc > D_{adm} \rightarrow \text{a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada.}$ |
| 5,35 | 5,00 | - | - | $\mu < 1, Dc > D_{adm} \rightarrow \text{a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada.}$ |
| 4,14 | 4,14 | - | - | $\mu < 1, Dc > D_{adm} \rightarrow \text{a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada.}$ |
| 5,46 | 5,00 | - | - | $\mu < 1, Dc > D_{adm} \rightarrow \text{a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada.}$ |

Fonte: O autor

Tabela 30 - Dimensionamento usando o material de Dama (2003) Parte 1

| Autor | Trecho | Mistura | Teor de Ligante (%) | Dc (0,01 mm) | he (cm) | I1 | I2 |
|-------------|---------------------------|--|---------------------|---------------|---------|----|----|
| DAMA (2003) | 69 (km 289,400 a 290,000) | Fresado + filer + água + espuma de asfalto (antes da aplicação) | 2,5 | 74,00 | 20,00 | 1 | 0 |
| | 87 (km 309,500 a 311,200) | | | 81,00 | 8,00 | 1 | 0 |
| | 88 (km 311,200 a 311,900) | | | 97,00 | 8,00 | 1 | 0 |
| | 91 (km 324,000 a 325,900) | | | 68,00 | 9,00 | 1 | 0 |
| | 103 (km 0,000 a 1,492) | | | 74,00 | 6,00 | 1 | 0 |
| | 104 (km 1,560 a 3,300) | | | 87,00 | 5,00 | 1 | 0 |
| | 105 (km 3,300 a 4,100) | | | 66,00 | 5,00 | 1 | 0 |
| | 106 (km 0,000 a 1,492) | | | 74,00 | 6,00 | 1 | 0 |
| | 107 (km 1,560 a 3,300) | | | 78,00 | 5,00 | 1 | 0 |
| | 108 (km 3,300 a 4,100) | | | 75,00 | 5,00 | 1 | 0 |
| DAMA (2003) | 69 (km 289,400 a 290,000) | Fresado + filer + água + espuma de asfalto (depois da aplicação) | 2,5 | 74,00 | 20,00 | 1 | 0 |
| | 87 (km 309,500 a 311,200) | | | 81,00 | 8,00 | 1 | 0 |
| | 88 (km 311,200 a 311,900) | | | 97,00 | 8,00 | 1 | 0 |
| | 91 (km 324,000 a 325,900) | | | 68,00 | 9,00 | 1 | 0 |
| | 103 (km 0,000 a 1,492) | | | 74,00 | 6,00 | 1 | 0 |
| | 104 (km 1,560 a 3,300) | | | 87,00 | 5,00 | 1 | 0 |
| | 105 (km 3,300 a 4,100) | | | 66,00 | 5,00 | 1 | 0 |
| | 106 (km 0,000 a 1,492) | | | 74,00 | 6,00 | 1 | 0 |
| | 107 (km 1,560 a 3,300) | | | 78,00 | 5,00 | 1 | 0 |
| | 108 (km 3,300 a 4,100) | | | 75,00 | 5,00 | 1 | 0 |

Fonte: O autor

Tabela 31 - Dimensionamento usando o material de Dama (2003) Parte 2

| Mef (Mpa) | MRc (Mpa) | μ | hc (cm) | \overline{Dc} (0,01 mm) | Np | Dadm (0,01 mm) | FC-2 (%) | FC-3 (%) | FC-2 + FC-3 (%) |
|-----------|-----------|-------|---------|---------------------------|----------|----------------|----------|----------|-----------------|
| 631,34 | 3445 | 5,46 | 15,00 | 40,71 | 9,53E+07 | 44,46 | 32,26 | 67,74 | 100,00 |
| 2367,36 | 3445 | 1,46 | 6,00 | 71,41 | 9,53E+07 | 44,46 | 45,35 | 54,65 | 100,00 |
| 1441,26 | 3445 | 2,39 | 6,00 | 71,97 | 9,53E+07 | 44,46 | 8,33 | 91,67 | 100,00 |
| 3131,50 | 3445 | 1,10 | 7,00 | 65,80 | 8,37E+07 | 45,55 | 88,54 | 11,46 | 100,00 |
| 4971,35 | 3445 | 0,69 | 4,00 | 82,25 | 5,04E+07 | 50,11 | 3,95 | 0,00 | 3,95 |
| 4352,01 | 3445 | 0,79 | 3,00 | 92,46 | 5,04E+07 | 50,11 | 26,14 | 0,00 | 26,14 |
| 9310,68 | 3445 | 0,37 | 3,00 | 84,37 | 5,04E+07 | 50,11 | 2,44 | 0,00 | 2,44 |
| 4971,35 | 3445 | 0,69 | 4,00 | 82,25 | 5,04E+07 | 50,11 | 3,95 | 0,00 | 3,95 |
| 5878,27 | 3445 | 0,59 | 3,00 | 89,40 | 5,04E+07 | 50,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 6548,51 | 3445 | 0,53 | 3,00 | 88,25 | 5,04E+07 | 50,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| Mef (Mpa) | MRc (Mpa) | μ | hc (cm) | \overline{Dc} (0,01 mm) | Np | Dadm (0,01 mm) | FC-2 (%) | FC-3 (%) | FC-2 + FC-3 (%) |
| 631,34 | 4020 | 6,37 | 15,00 | 38,44 | 9,53E+07 | 44,46 | 32,26 | 67,74 | 100,00 |
| 2367,36 | 4020 | 1,70 | 6,00 | 67,72 | 9,53E+07 | 44,46 | 45,35 | 54,65 | 100,00 |
| 1441,26 | 4020 | 2,79 | 6,00 | 68,14 | 9,53E+07 | 44,46 | 8,33 | 91,67 | 100,00 |
| 3131,50 | 4020 | 1,28 | 7,00 | 62,36 | 8,37E+07 | 45,55 | 88,54 | 11,46 | 100,00 |
| 4971,35 | 4020 | 0,81 | 4,00 | 78,71 | 5,04E+07 | 50,11 | 3,95 | 0,00 | 3,95 |
| 4352,01 | 4020 | 0,92 | 3,00 | 88,84 | 5,04E+07 | 50,11 | 26,14 | 0,00 | 26,14 |
| 9310,68 | 4020 | 0,43 | 3,00 | 81,40 | 5,04E+07 | 50,11 | 2,44 | 0,00 | 2,44 |
| 4971,35 | 4020 | 0,81 | 4,00 | 78,71 | 5,04E+07 | 50,11 | 3,95 | 0,00 | 3,95 |
| 5878,27 | 4020 | 0,68 | 3,00 | 86,04 | 5,04E+07 | 50,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 6548,51 | 4020 | 0,61 | 3,00 | 84,98 | 5,04E+07 | 50,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Fonte: O autor

Tabela 32 - Dimensionamento usando o material de Dama (2003) Parte 3

| hef (cm) | hef adot. (cm) | HR (cm) | HR Escolhido (cm) | Observação: |
|----------|----------------|---------|------------------------------------|--|
| 0,00 | 0,00 | 15 | 9 cm (Reciclado) + 6 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{Dc} \leq D_{adm} \rightarrow HR = \text{espessura de corte.}$ |
| 0,00 | 0,00 | 18 | 10 cm (Reciclado) + 8 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 0,00 | 0,00 | 18 | 10 cm (Reciclado) + 8 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 0,00 | 0,00 | 17 | 10 cm (Reciclado) + 7 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 5,06 | 5,06 | - | - | $\mu < 1, Dc > D_{adm} \rightarrow \text{a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada.}$ |
| 3,97 | 3,97 | - | - | $\mu < 1, Dc > D_{adm} \rightarrow \text{a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada.}$ |
| 4,81 | 4,81 | - | - | $\mu < 1, Dc > D_{adm} \rightarrow \text{a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada.}$ |
| 5,06 | 5,06 | - | - | $\mu < 1, Dc > D_{adm} \rightarrow \text{a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada.}$ |
| 4,27 | 4,27 | - | - | $\mu < 1, Dc > D_{adm} \rightarrow \text{a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada.}$ |
| 4,39 | 4,27 | - | - | $\mu < 1, Dc > D_{adm} \rightarrow \text{a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada.}$ |
| | | | | |
| | | | | |
| hef (cm) | hef adot. (cm) | HR (cm) | HR Escolhido (cm) | Observação: |
| 0,00 | 0,00 | 15 | 9 cm (Reciclado) + 6 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{Dc} \leq D_{adm} \rightarrow HR = \text{espessura de corte.}$ |
| 0,00 | 0,00 | 18 | 10 cm (Reciclado) + 8 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 0,00 | 0,00 | 18 | 10 cm (Reciclado) + 8 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 0,00 | 0,00 | 17 | 10 cm (Reciclado) + 7 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 5,50 | 5,06 | - | - | $\mu < 1, Dc > D_{adm} \rightarrow \text{a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada.}$ |
| 4,33 | 3,97 | - | - | $\mu < 1, Dc > D_{adm} \rightarrow \text{a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada.}$ |
| 5,16 | 4,81 | - | - | $\mu < 1, Dc > D_{adm} \rightarrow \text{a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada.}$ |
| 5,50 | 5,06 | - | - | $\mu < 1, Dc > D_{adm} \rightarrow \text{a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada.}$ |
| 4,63 | 4,27 | - | - | $\mu < 1, Dc > D_{adm} \rightarrow \text{a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada.}$ |
| 4,74 | 4,27 | - | - | $\mu < 1, Dc > D_{adm} \rightarrow \text{a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada.}$ |

Fonte: O autor

Tabela 33 - Dimensionamento usando o material de Luvizão (2014) Parte 1

| Autor | Trecho | Mistura | Teor de Ligante (%) | Dc (0,01 mm) | he (cm) | I1 | I2 |
|----------------|---------------------------|---------------------------------|---------------------|---------------|---------|----|----|
| LUVIZÃO (2014) | 69 (km 289,400 a 290,000) | Fresado + cimento + pó de pedra | 4,0 | 74,00 | 20,00 | 1 | 0 |
| | 87 (km 309,500 a 311,200) | | | 81,00 | 8,00 | 1 | 0 |
| | 88 (km 311,200 a 311,900) | | | 97,00 | 8,00 | 1 | 0 |
| | 91 (km 324,000 a 325,900) | | | 68,00 | 9,00 | 1 | 0 |
| | 103 (km 0,000 a 1,492) | | | 74,00 | 6,00 | 1 | 0 |
| | 104 (km 1,560 a 3,300) | | | 87,00 | 5,00 | 1 | 0 |
| | 105 (km 3,300 a 4,100) | | | 66,00 | 5,00 | 1 | 0 |
| | 106 (km 0,000 a 1,492) | | | 74,00 | 6,00 | 1 | 0 |
| | 107 (km 1,560 a 3,300) | | | 78,00 | 5,00 | 1 | 0 |
| | 108 (km 3,300 a 4,100) | | | 75,00 | 5,00 | 1 | 0 |

Fonte: O autor

Tabela 34 - Dimensionamento usando o material de Luvizão (2014) Parte 2

| Mef (Mpa) | MRc (Mpa) | μ | hc (cm) | \overline{Dc} (0,01 mm) | Np | Dadm (0,01 mm) | FC-2 (%) | FC-3 (%) | FC-2 + FC-3 (%) |
|-----------|-----------|-------|---------|---------------------------|----------|----------------|----------|----------|-----------------|
| 631,34 | 1354 | 2,14 | 15,00 | 57,04 | 9,53E+07 | 44,46 | 32,26 | 67,74 | 100,00 |
| 2367,36 | 1354 | 0,57 | 6,00 | 97,02 | 9,53E+07 | 44,46 | 45,35 | 54,65 | 100,00 |
| 1441,26 | 1354 | 0,94 | 6,00 | 99,02 | 9,53E+07 | 44,46 | 8,33 | 91,67 | 100,00 |
| 3131,50 | 1354 | 0,43 | 7,00 | 89,83 | 8,37E+07 | 45,55 | 88,54 | 11,46 | 100,00 |
| 4971,35 | 1354 | 0,27 | 4,00 | 105,42 | 5,04E+07 | 50,11 | 3,95 | 0,00 | 3,95 |
| 4352,01 | 1354 | 0,31 | 3,00 | 115,65 | 5,04E+07 | 50,11 | 26,14 | 0,00 | 26,14 |
| 9310,68 | 1354 | 0,15 | 3,00 | 102,81 | 5,04E+07 | 50,11 | 2,44 | 0,00 | 2,44 |
| 4971,35 | 1354 | 0,27 | 4,00 | 105,42 | 5,04E+07 | 50,11 | 3,95 | 0,00 | 3,95 |
| 5878,27 | 1354 | 0,23 | 3,00 | 110,67 | 5,04E+07 | 50,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 6548,51 | 1354 | 0,21 | 3,00 | 108,85 | 5,04E+07 | 50,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Fonte: O autor

Tabela 35 - Dimensionamento usando o material de Luvizão (2014) Parte 3

| hef (cm) | hef adot. (cm) | HR (cm) | HR Escolhido (cm) | Observação: |
|----------|----------------|---------|------------------------------------|--|
| 0,00 | 0,00 | 18 | 10 cm (Reciclado) + 8 cm (CA novo) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow$ Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando $Dc = \overline{Dc}$ |
| 0,00 | 0,00 | - | - | $\mu < 1, Dc > Dadm \rightarrow$ a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada. |
| 0,00 | 0,00 | - | - | $\mu < 1, Dc > Dadm \rightarrow$ a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada. |
| 0,00 | 0,00 | - | - | $\mu < 1, Dc > Dadm \rightarrow$ a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada. |
| 2,90 | 2,90 | - | - | $\mu < 1, Dc > Dadm \rightarrow$ a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada. |
| 2,22 | 2,22 | - | - | $\mu < 1, Dc > Dadm \rightarrow$ a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada. |
| 3,09 | 3,09 | - | - | $\mu < 1, Dc > Dadm \rightarrow$ a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada. |
| 2,90 | 2,90 | - | - | $\mu < 1, Dc > Dadm \rightarrow$ a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada. |
| 2,54 | 2,54 | - | - | $\mu < 1, Dc > Dadm \rightarrow$ a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada. |
| 2,66 | 2,66 | - | - | $\mu < 1, Dc > Dadm \rightarrow$ a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada. |

Fonte: O autor

Tabela 36 - Dimensionamento usando o material de Zubaran (2014) Parte 1

| Autor | Trecho | Mistura | Teor de Ligante (%) | Dc (0,01 mm) | he (cm) | I1 | I2 |
|----------------|---------------------------|---|---------------------|---------------|---------|----|----|
| ZUBARAN (2014) | 69 (km 289,400 a 290,000) | Fresado (50%) + CAP 30/45 (20%) + AR-75 (80%) | 4,9 | 74,00 | 20,00 | 1 | 0 |
| | | Fresado (50%) + CAP 30/45 (50%) + AR-75 (50%) | 4,95 | 74,00 | 20,00 | 1 | 0 |
| | 87 (km 309,500 a 311,200) | Fresado (50%) + CAP 30/45 (20%) + AR-75 (80%) | 4,9 | 81,00 | 8,00 | 1 | 0 |
| | | Fresado (50%) + CAP 30/45 (50%) + AR-75 (50%) | 4,95 | 81,00 | 8,00 | 1 | 0 |
| | 88 (km 311,200 a 311,900) | Fresado (50%) + CAP 30/45 (20%) + AR-75 (80%) | 4,9 | 97,00 | 8,00 | 1 | 0 |
| | | Fresado (50%) + CAP 30/45 (50%) + AR-75 (50%) | 4,95 | 97,00 | 8,00 | 1 | 0 |
| | 91 (km 324,000 a 325,900) | Fresado (50%) + CAP 30/45 (20%) + AR-75 (80%) | 4,9 | 68,00 | 9,00 | 1 | 0 |
| | | Fresado (50%) + CAP 30/45 (50%) + AR-75 (50%) | 4,95 | 68,00 | 9,00 | 1 | 0 |
| | 103 (km 0,000 a 1,492) | Fresado (50%) + CAP 30/45 (20%) + AR-75 (80%) | 4,9 | 74,00 | 6,00 | 1 | 0 |
| | | Fresado (50%) + CAP 30/45 (50%) + AR-75 (50%) | 4,95 | 74,00 | 6,00 | 1 | 0 |
| | 104 (km 1,560 a 3,300) | Fresado (50%) + CAP 30/45 (20%) + AR-75 (80%) | 4,9 | 87,00 | 5,00 | 1 | 0 |
| | | Fresado (50%) + CAP 30/45 (50%) + AR-75 (50%) | 4,95 | 87,00 | 5,00 | 1 | 0 |
| | 105 (km 3,300 a 4,100) | Fresado (50%) + CAP 30/45 (20%) + AR-75 (80%) | 4,9 | 66,00 | 5,00 | 1 | 0 |
| | | Fresado (50%) + CAP 30/45 (50%) + AR-75 (50%) | 4,95 | 66,00 | 5,00 | 1 | 0 |
| | 106 (km 0,000 a 1,492) | Fresado (50%) + CAP 30/45 (20%) + AR-75 (80%) | 4,9 | 74,00 | 6,00 | 1 | 0 |
| | | Fresado (50%) + CAP 30/45 (50%) + AR-75 (50%) | 4,95 | 74,00 | 6,00 | 1 | 0 |
| | 107 (km 1,560 a 3,300) | Fresado (50%) + CAP 30/45 (20%) + AR-75 (80%) | 4,9 | 78,00 | 5,00 | 1 | 0 |
| | | Fresado (50%) + CAP 30/45 (50%) + AR-75 (50%) | 4,95 | 78,00 | 5,00 | 1 | 0 |
| | 108 (km 3,300 a 4,100) | Fresado (50%) + CAP 30/45 (20%) + AR-75 (80%) | 4,9 | 75,00 | 5,00 | 1 | 0 |
| | | Fresado (50%) + CAP 30/45 (50%) + AR-75 (50%) | 4,95 | 75,00 | 5,00 | 1 | 0 |

Fonte: O autor

Tabela 37 - Dimensionamento usando o material de Zubaran (2014) Parte 2

| Mef (Mpa) | MRC (Mpa) | μ | hc (cm) | \overline{Dc} (0,01 mm) | Np | Dadm (0,01 mm) | FC-2 (%) | FC-3 (%) | FC-2 + FC-3 (%) |
|-----------|-----------|-------|---------|---------------------------|----------|----------------|----------|----------|-----------------|
| 631,34 | 10550 | 16,71 | 15,00 | 26,57 | 9,53E+07 | 44,46 | 32,26 | 67,74 | 100,00 |
| 631,34 | 12700 | 20,12 | 15,00 | 24,71 | 9,53E+07 | 44,46 | 32,26 | 67,74 | 100,00 |
| 2367,36 | 10550 | 4,46 | 6,00 | 48,02 | 9,53E+07 | 44,46 | 45,35 | 54,65 | 100,00 |
| 2367,36 | 12700 | 5,36 | 6,00 | 44,84 | 9,53E+07 | 44,46 | 45,35 | 54,65 | 100,00 |
| 1441,26 | 10550 | 7,32 | 6,00 | 47,81 | 9,53E+07 | 44,46 | 8,33 | 91,67 | 100,00 |
| 1441,26 | 12700 | 8,81 | 6,00 | 44,57 | 9,53E+07 | 44,46 | 8,33 | 91,67 | 100,00 |
| 3131,50 | 10550 | 3,37 | 7,00 | 44,05 | 8,37E+07 | 45,55 | 88,54 | 11,46 | 100,00 |
| 3131,50 | 12700 | 4,06 | 7,00 | 41,11 | 8,37E+07 | 45,55 | 88,54 | 11,46 | 100,00 |
| 4971,35 | 10550 | 2,12 | 4,00 | 58,77 | 5,04E+07 | 50,11 | 3,95 | 0,00 | 3,95 |
| 4971,35 | 12700 | 2,55 | 4,00 | 55,38 | 5,04E+07 | 50,11 | 3,95 | 0,00 | 3,95 |
| 4352,01 | 10550 | 2,42 | 3,00 | 67,89 | 5,04E+07 | 50,11 | 26,14 | 0,00 | 26,14 |
| 4352,01 | 12700 | 2,92 | 3,00 | 64,24 | 5,04E+07 | 50,11 | 26,14 | 0,00 | 26,14 |
| 9310,68 | 10550 | 1,13 | 3,00 | 63,83 | 5,04E+07 | 50,11 | 2,44 | 0,00 | 2,44 |
| 9310,68 | 12700 | 1,36 | 3,00 | 60,69 | 5,04E+07 | 50,11 | 2,44 | 0,00 | 2,44 |
| 4971,35 | 10550 | 2,12 | 4,00 | 58,77 | 5,04E+07 | 50,11 | 3,95 | 0,00 | 3,95 |
| 4971,35 | 12700 | 2,55 | 4,00 | 55,38 | 5,04E+07 | 50,11 | 3,95 | 0,00 | 3,95 |
| 5878,27 | 10550 | 1,79 | 3,00 | 66,41 | 5,04E+07 | 50,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 5878,27 | 12700 | 2,16 | 3,00 | 62,96 | 5,04E+07 | 50,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 6548,51 | 10550 | 1,61 | 3,00 | 65,84 | 5,04E+07 | 50,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 6548,51 | 12700 | 1,94 | 3,00 | 62,46 | 5,04E+07 | 50,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Fonte: O autor

Tabela 38 - Dimensionamento usando o material de Zubaran (2014) Parte 3

| hef (cm) | hef adot. (cm) | HR (cm) | HR Escolhido (cm) | Observação: |
|----------|----------------|---------|-------------------|---|
| 0,00 | 0,00 | 15 | 15 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} \leq Dadm \rightarrow HR = \text{espessura de corte.}$ |
| 0,00 | 0,00 | 15 | 15 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} \leq Dadm \rightarrow HR = \text{espessura de corte.}$ |
| 0,00 | 0,00 | 18 | 18 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 0,00 | 0,00 | 18 | 18 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 0,00 | 0,00 | 18 | 18 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 0,00 | 0,00 | 18 | 18 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 0,00 | 0,00 | 17 | 17 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} \leq Dadm \rightarrow HR = \text{espessura de corte.}$ |
| 0,00 | 0,00 | 17 | 17 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} \leq Dadm \rightarrow HR = \text{espessura de corte.}$ |
| 8,98 | 6,00 | 7 | 7 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 9,82 | 6,00 | 7 | 7 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 7,14 | 5,00 | 9 | 9 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 7,81 | 5,00 | 9 | 9 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 7,89 | 5,00 | 9 | 9 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 8,55 | 5,00 | 9 | 9 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 8,98 | 6,00 | 7 | 7 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 9,82 | 6,00 | 7 | 7 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 7,40 | 5,00 | 9 | 9 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 8,07 | 5,00 | 9 | 9 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 7,51 | 5,00 | 9 | 9 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 8,17 | 5,00 | 9 | 9 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > Dadm \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |

Fonte: O autor

Tabela 39 - Dimensionamento usando o material de Lima (2003) Parte 1

| Autor | Trecho | Mistura | Teor de Ligante (%) | Dc (0,01 mm) | he (cm) | I1 | I2 |
|-------------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------|---------|----|----|
| LIMA (2003) | 69 (km 289,400 a 290,000) | Fresado (30%) + CAP 50/60 + AR-75 | 5,1 | 74,00 | 20,00 | 1 | 0 |
| | | Fresado (50%) + CAP 50/60 + AR-75 | 5,2 | 74,00 | 20,00 | 1 | 0 |
| | 87 (km 309,500 a 311,200) | Fresado (30%) + CAP 50/60 + AR-75 | 5,1 | 81,00 | 8,00 | 1 | 0 |
| | | Fresado (50%) + CAP 50/60 + AR-75 | 5,2 | 81,00 | 8,00 | 1 | 0 |
| | 88 (km 311,200 a 311,900) | Fresado (30%) + CAP 50/60 + AR-75 | 5,1 | 97,00 | 8,00 | 1 | 0 |
| | | Fresado (50%) + CAP 50/60 + AR-75 | 5,2 | 97,00 | 8,00 | 1 | 0 |
| | 91 (km 324,000 a 325,900) | Fresado (30%) + CAP 50/60 + AR-75 | 5,1 | 68,00 | 9,00 | 1 | 0 |
| | | Fresado (50%) + CAP 50/60 + AR-75 | 5,2 | 68,00 | 9,00 | 1 | 0 |
| | 103 (km 0,000 a 1,492) | Fresado (30%) + CAP 50/60 + AR-75 | 5,1 | 74,00 | 6,00 | 1 | 0 |
| | | Fresado (50%) + CAP 50/60 + AR-75 | 5,2 | 74,00 | 6,00 | 1 | 0 |
| | 104 (km 1,560 a 3,300) | Fresado (30%) + CAP 50/60 + AR-75 | 5,1 | 87,00 | 5,00 | 1 | 0 |
| | | Fresado (50%) + CAP 50/60 + AR-75 | 5,2 | 87,00 | 5,00 | 1 | 0 |
| | 105 (km 3,300 a 4,100) | Fresado (30%) + CAP 50/60 + AR-75 | 5,1 | 66,00 | 5,00 | 1 | 0 |
| | | Fresado (50%) + CAP 50/60 + AR-75 | 5,2 | 66,00 | 5,00 | 1 | 0 |
| | 106 (km 0,000 a 1,492) | Fresado (30%) + CAP 50/60 + AR-75 | 5,1 | 74,00 | 6,00 | 1 | 0 |
| | | Fresado (50%) + CAP 50/60 + AR-75 | 5,2 | 74,00 | 6,00 | 1 | 0 |
| | 107 (km 1,560 a 3,300) | Fresado (30%) + CAP 50/60 + AR-75 | 5,1 | 78,00 | 5,00 | 1 | 0 |
| | | Fresado (50%) + CAP 50/60 + AR-75 | 5,2 | 78,00 | 5,00 | 1 | 0 |
| | 108 (km 3,300 a 4,100) | Fresado (30%) + CAP 50/60 + AR-75 | 5,1 | 75,00 | 5,00 | 1 | 0 |
| | | Fresado (50%) + CAP 50/60 + AR-75 | 5,2 | 75,00 | 5,00 | 1 | 0 |

Fonte: O autor

Tabela 40 - Dimensionamento usando o material de Lima (2003) Parte 2

| Mef (Mpa) | MRC (Mpa) | μ | hc (cm) | \overline{Dc} (0,01 mm) | Np | Dadm (0,01 mm) | FC-2 (%) | FC-3 (%) | FC-2 + FC-3 (%) |
|-----------|-----------|-------|---------|---------------------------|----------|----------------|----------|----------|-----------------|
| 631,34 | 7524 | 11,92 | 15,00 | 30,29 | 9,53E+07 | 44,46 | 32,26 | 67,74 | 100,00 |
| 631,34 | 8901 | 14,10 | 15,00 | 28,39 | 9,53E+07 | 44,46 | 32,26 | 67,74 | 100,00 |
| 2367,36 | 7524 | 3,18 | 6,00 | 54,30 | 9,53E+07 | 44,46 | 45,35 | 54,65 | 100,00 |
| 2367,36 | 8901 | 3,76 | 6,00 | 51,10 | 9,53E+07 | 44,46 | 45,35 | 54,65 | 100,00 |
| 1441,26 | 7524 | 5,22 | 6,00 | 54,25 | 9,53E+07 | 44,46 | 8,33 | 91,67 | 100,00 |
| 1441,26 | 8901 | 6,18 | 6,00 | 50,96 | 9,53E+07 | 44,46 | 8,33 | 91,67 | 100,00 |
| 3131,50 | 7524 | 2,40 | 7,00 | 49,87 | 8,37E+07 | 45,55 | 88,54 | 11,46 | 100,00 |
| 3131,50 | 8901 | 2,84 | 7,00 | 46,90 | 8,37E+07 | 45,55 | 88,54 | 11,46 | 100,00 |
| 4971,35 | 7524 | 1,51 | 4,00 | 65,33 | 5,04E+07 | 50,11 | 3,95 | 0,00 | 3,95 |
| 4971,35 | 8901 | 1,79 | 4,00 | 62,01 | 5,04E+07 | 50,11 | 3,95 | 0,00 | 3,95 |
| 4352,01 | 7524 | 1,73 | 3,00 | 74,87 | 5,04E+07 | 50,11 | 26,14 | 0,00 | 26,14 |
| 4352,01 | 8901 | 2,05 | 3,00 | 71,35 | 5,04E+07 | 50,11 | 26,14 | 0,00 | 26,14 |
| 9310,68 | 7524 | 0,81 | 3,00 | 69,77 | 5,04E+07 | 50,11 | 2,44 | 0,00 | 2,44 |
| 9310,68 | 8901 | 0,96 | 3,00 | 66,79 | 5,04E+07 | 50,11 | 2,44 | 0,00 | 2,44 |
| 4971,35 | 7524 | 1,51 | 4,00 | 65,33 | 5,04E+07 | 50,11 | 3,95 | 0,00 | 3,95 |
| 4971,35 | 8901 | 1,79 | 4,00 | 62,01 | 5,04E+07 | 50,11 | 3,95 | 0,00 | 3,95 |
| 5878,27 | 7524 | 1,28 | 3,00 | 72,99 | 5,04E+07 | 50,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 5878,27 | 8901 | 1,51 | 3,00 | 69,67 | 5,04E+07 | 50,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 6548,51 | 7524 | 1,15 | 3,00 | 72,27 | 5,04E+07 | 50,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 6548,51 | 8901 | 1,36 | 3,00 | 69,03 | 5,04E+07 | 50,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Fonte: O autor

Tabela 41 - Dimensionamento usando o material de Lima (2003) Parte 3

| hef (cm) | hef adot. (cm) | HR (cm) | HR Escolhido (cm) | Observação: |
|----------|----------------|---------|-------------------|--|
| 0,00 | 0,00 | 15 | 15 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} \leq D_{adm} \rightarrow HR = \text{espessura de corte.}$ |
| 0,00 | 0,00 | 15 | 15 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} \leq D_{adm} \rightarrow HR = \text{espessura de corte.}$ |
| 0,00 | 0,00 | 18 | 18 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 0,00 | 0,00 | 18 | 18 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 0,00 | 0,00 | 18 | 18 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 0,00 | 0,00 | 18 | 18 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 0,00 | 0,00 | 17 | 17 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 0,00 | 0,00 | 17 | 17 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 7,60 | 6,00 | 7 | 7 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 8,26 | 6,00 | 7 | 7 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 6,03 | 5,00 | 9 | 9 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 6,56 | 5,00 | 9 | 9 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 6,81 | 5,00 | 9 | 9 cm (Reciclado) | $\mu < 1, Dc > D_{adm} \rightarrow \text{a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada.}$ |
| 7,33 | 5,00 | 9 | 9 cm (Reciclado) | $\mu < 1, Dc > D_{adm} \rightarrow \text{a solução de restauração não deve utilizar mistura reciclada.}$ |
| 7,60 | 6,00 | 7 | 7 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 8,26 | 6,00 | 7 | 7 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 6,30 | 5,00 | 9 | 9 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 6,83 | 5,00 | 9 | 9 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 6,42 | 5,00 | 9 | 9 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |
| 6,94 | 5,00 | 9 | 9 cm (Reciclado) | $\mu > 1, \overline{Dc} > D_{adm} \rightarrow \text{Calcula-se HR pela eq. 3.8 considerando } Dc = \overline{Dc}.$ |

Fonte: O autor

ANEXO – Soluções de pavimentação BR-222/CE realizados por Fonseca (2013)

| SEGMENTOS HOMOGÊNEOS | | | | PARÂMETROS DECISIVOS | | | | SOLUÇÕES DO CATÁLOGO | | | | ÁREA DE FRESAGEM CONF. NOTA TÉCNICA Nº 34/2011 | | | |
|---------------------------------------|------------|--------|--------------|----------------------|--------|-------------|---------------|----------------------|--|--------|--------------------------------|--|--|-------|-------|
| Nº | QUILÔMETRO | | Extensão (m) | FUNCIONAIS | | ESTRUTURAIS | | | | ACOST. | | | | | |
| | Inicial | Final | | IRI (QV13) | LOG | N | he - CBUC(cm) | Hog (cm) | D ₁₀ (0,075 mm) - PRO11/79 | | | | D ₅₀ (0,075 mm) - PRO26/94 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| Via Marginal - BR-222/CE - LD | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0,070 | 3,000 | 2,930 | 7,60 | 99,27 | 6,51E+07 | 7,00 | 45,00 | 43,13 | 47,80 | FR5(100%) + REP + TSDpol + | SEM ACOSTAMENTO | 37,41 | 40,00 | |
| 1B | 3,000 | 3,900 | 900 | | | | | | | | Travessia do Rio Maranguapinho | | | | |
| 2 | 3,900 | 5,040 | 1,140 | 2,60 | 58,63 | 6,51E+07 | 7,00 | 39,00 | 43,13 | 47,80 | F5(5%) + H9 | F5(5%) + H8 | 24,37 | 25,00 | |
| Via Marginal - BR-222/CE - LE | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 0,070 | 3,000 | 2,930 | 8,20 | 86,23 | 6,51E+07 | 7,00 | 36,00 | 43,13 | 47,80 | FR5(100%) + REP + TSDpol + | SEM ACOSTAMENTO | 35,88 | 40,00 | |
| 3C | 3,000 | 4,030 | 1,030 | | | | | | | | Travessia do Rio Maranguapinho | | | | |
| 4 | 4,030 | 5,080 | 1,050 | 2,30 | 8,73 | 6,51E+07 | 7,00 | 45,00 | 51,10 | 43,13 | H3 | H7 | 1,53 | 5,00 | |
| BR-222/CE - Pista Dupla LD (3 FAIXAS) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 0,000 | 3,380 | 3,380 | 3,90 | 111,18 | 6,51E+07 | 13,00 | 35,00 | 70,00 | 43,13 | 47,80 | F5(20%) + H9 | F5(5%) + H8 | 32,48 | 35,00 |
| 5B | 3,380 | 3,480 | 100 | | | | | | | | Viaduto s/ linha férrea | | | | |
| 6 | 3,480 | 3,680 | 200 | 2,70 | 151,87 | 6,51E+07 | 13,00 | 38,00 | 65,80 | 43,13 | 47,80 | F5(5%) + H8 | F5(5%) + H16 | 79,36 | 80,00 |
| 6A | 3,680 | 3,700 | 20 | | | | | | | | Ponte s/ Rio Maranguapinho | | | | |
| 7 | 3,700 | 5,000 | 1,300 | 2,70 | 110,07 | 6,51E+07 | 21,00 | 41,00 | 63,00 | 43,13 | 47,80 | F5(5%) + H7 | F5(5%) + H15 | 63,82 | 65,00 |
| 8 | 5,000 | 5,700 | 700 | 3,40 | 53,98 | 6,51E+07 | 21,00 | 42,00 | 73,90 | 43,13 | 47,80 | F5(10%) + H9 | F5(10%) + H8 | 48,11 | 50,00 |
| 9 | 5,700 | 6,000 | 300 | 3,00 | 62,26 | 6,51E+07 | 21,00 | 49,00 | 67,40 | 43,13 | 47,80 | F5(5%) + H8 | F5(5%) + H5 | 60,13 | 60,00 |
| BR-222/CE - Pista Dupla LE (3 FAIXAS) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 0,000 | 3,380 | 3,380 | 3,00 | 69,01 | 6,51E+07 | 13,00 | 48,00 | 62,40 | 43,13 | 47,80 | F5(5%) + H6 | F5(5%) + H4 | 20,48 | 20,00 |
| 10B | 3,380 | 3,480 | 100 | | | | | | | | Viaduto s/ linha férrea | | | | |
| 11 | 3,480 | 3,680 | 200 | 2,60 | 131,87 | 6,51E+07 | 13,00 | 39,00 | 73,40 | 43,13 | 47,80 | F5(5%) + H8 | F5(5%) + H16 | 78,36 | 80,00 |
| 11A | 3,680 | 3,700 | 20 | | | | | | | | Ponte s/ Rio Maranguapinho | | | | |
| 12 | 3,700 | 5,000 | 1,300 | 2,90 | 105,26 | 6,51E+07 | 21,00 | 41,00 | 63,70 | 43,13 | 47,80 | F5(5%) + H7 | F5(5%) + H15 | 63,09 | 65,00 |
| 13 | 5,000 | 6,000 | 1,000 | 2,90 | 63,57 | 6,51E+07 | 21,00 | 40,00 | 67,90 | 43,13 | 47,80 | F5(5%) + H8 | F5(10%) + H7 | 51,41 | 55,00 |
| BR-222/CE - km 6,00 ao km 11,2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | 6,000 | 7,300 | 1,300 | 3,00 | 54,28 | 6,51E+07 | 21,00 | 41,00 | 49,20 | 43,13 | 47,80 | F5(5%) + H2 | F5(5%) + H10 | 51,88 | 55,00 |
| 15 | 7,300 | 9,034 | 1,734 | 3,00 | 53,61 | 6,51E+07 | 21,00 | 34,00 | 86,60 | 43,13 | 47,80 | F5(5%) + H12 | F5(5%) + H10 | 51,05 | 55,00 |
| 15A | 9,034 | 9,116 | 82 | | | | | | | | Viaduto s/ linha férrea | | | | |
| 16 | 9,116 | 9,900 | 784 | 3,80 | 86,85 | 6,51E+07 | 21,00 | 37,00 | 82,70 | 43,13 | 47,80 | F5(20%) + H11 | F5(20%) + H15 | 80,31 | 80,00 |
| 17 | 9,900 | 11,200 | 1,300 | 3,60 | 61,95 | 6,51E+07 | 21,00 | 37,00 | 64,30 | 43,13 | 47,80 | F5(20%) + H7 | F5(20%) + H6 | 58,91 | 60,00 |

| SEGMENTOS HOMOGÊNEOS | | | | PARÂMETROS DECISIVOS | | | | | SOLUÇÕES DO CATÁLOGO | | | | (FC2 + FC3 + R) % | | ÁREA DE PRESAÇ. CONF. NOTA TÉCNICA Nº 34/2011 | |
|--------------------------------|------------|--------|--------------|----------------------|--------|-------------|----------------------------|----------|------------------------------------|-------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------|---------------------------------------|---|---------------------------------------|
| Nº | QUILÔMETRO | | Extensão (m) | FUNCIONAIS | | ESTRUTURAIS | | | CREMA 2ª ETAPA + REFORÇO PRO-11/79 | PISTA | CREMA 2ª ETAPA + REFORÇO TECNAPAV | PISTA | ACOST. | | | |
| | Inicial | Final | | IRI (QV13) | ICG | N | h _e - CBUC (cm) | Hog (cm) | | | | | | D _{max} (0,01 mm) - PRO11/79 | | D _{max} (0,01 mm) - PRO26/94 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BR-222/CE - km 35,8 ao km 64,3 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 35,800 | 39,451 | 3,651 | 3,30 | 79,70 | 6,51E+07 | 18,00 | 25,00 | 84,40 | 43,13 | 47,80 | F5(20%) + H12 | F5(20%) + H10 | Reest. de Base + TSD | 10,72 | 10,00 |
| 18A | 39,451 | 39,463 | 12 | | | | | | | | | Ponte s/ Rio Cachuipe | | | | |
| 19 | 39,463 | 40,200 | 737 | 2,60 | 64,65 | 6,51E+07 | 18,00 | 40,00 | 66,20 | 43,13 | 47,80 | F5(5%) + H7 | F5(5%) + H6 | Reest. de Base + TSD | 18,42 | 20,00 |
| 20 | 40,200 | 41,400 | 1,200 | 2,90 | 65,62 | 6,51E+07 | 18,00 | 41,00 | 66,60 | 43,13 | 47,80 | F5(5%) + H8 | F5(5%) + H6 | Reest. de Base + TSD | 14,75 | 15,00 |
| 21 | 41,400 | 43,558 | 2,158 | 3,10 | 69,78 | 6,51E+07 | 18,00 | 35,00 | 63,50 | 43,13 | 47,80 | F5(20%) + H7 | F5(20%) + H6 | Reest. de Base + TSD | 16,31 | 20,00 |
| 21A | 43,558 | 43,595 | 37 | | | | | | | | | Ponte s/ Rio Anil | | | | |
| 22 | 43,595 | 48,000 | 4,405 | 3,70 | 99,37 | 6,51E+07 | 18,00 | 42,00 | 41,30 | 43,13 | 47,80 | F5(20%) + H3 | F5(20%) + H3 | Reest. de Base + TSD(10%) TSD(20%) | 52,19 | 55,00 |
| 23 | 48,000 | 49,089 | 1,089 | 3,60 | 206,16 | 6,51E+07 | 13,00 | 45,00 | 42,90 | 43,13 | 47,80 | F5(20%) + H3 | F5(20%) + H16 | Reest. de Base + TSD | 68,00 | 70,00 |
| 23A | 49,089 | 49,121 | 32 | | | | | | | | | Ponte s/ Rio São Gonçalo | | | | |
| 24 | 49,121 | 50,643 | 1,522 | 4,00 | 76,94 | 6,51E+07 | 13,00 | 40,00 | 60,00 | 43,13 | 47,80 | F5(20%) + H6 | F5(20%) + H5 | Reest. de Base + TSD | 29,66 | 30,00 |
| 24A | 50,643 | 50,676 | 33 | | | | | | | | | Ponte s/ Riacho Mocó | | | | |
| 25 | 50,676 | 52,900 | 2,224 | 4,30 | 117,61 | 6,51E+07 | 13,00 | 48,00 | 55,00 | 43,13 | 47,80 | F5(30%) + REP + H4 | F5(30%) + REP + H3 | Reest. de Base + TSD | 62,91 | 65,00 |
| 26 | 52,900 | 54,000 | 1,100 | 4,00 | 98,92 | 6,51E+07 | 14,00 | 38,00 | 43,90 | 43,13 | 47,80 | F5(20%) + H3 | F5(20%) + H3 | Reest. de Base + TSD | 55,25 | 60,00 |
| 27 | 54,000 | 55,800 | 1,800 | 3,50 | 100,02 | 6,51E+07 | 14,00 | 40,00 | 35,20 | 43,13 | 47,80 | F5(20%) + H3 | F5(20%) + H3 | Reest. de Base + TSD(10%) TSD(20%) | 54,42 | 55,00 |
| 28 | 55,800 | 58,000 | 2,200 | 3,80 | 103,25 | 6,51E+07 | 14,00 | 40,00 | 32,80 | 43,13 | 47,80 | F5(20%) + H3 | F5(20%) + H3 | Reest. de Base + TSD(10%) TSD(20%) | 51,51 | 55,00 |
| 29 | 58,000 | 58,800 | 800 | 3,30 | 99,68 | 6,51E+07 | 14,00 | 41,00 | 41,10 | 43,13 | 47,80 | F5(20%) + H3 | F5(20%) + H3 | Reest. de Base + TSD(10%) TSD(20%) | 53,66 | 55,00 |
| 30 | 58,800 | 60,700 | 1,900 | 3,30 | 111,09 | 6,51E+07 | 14,00 | 39,00 | 25,70 | 43,13 | 47,80 | F5(20%) + H3 | F5(20%) + H3 | Reest. de Base + TSD(10%) TSD(20%) | 52,50 | 55,00 |
| 31 | 60,700 | 62,400 | 1,700 | 3,30 | 100,41 | 6,51E+07 | 16,00 | 35,00 | 27,20 | 43,13 | 47,80 | F5(20%) + H3 | F5(20%) + H3 | Reest. de Base + TSD(10%) TSD(20%) | 50,42 | 50,00 |
| 32 | 62,400 | 63,500 | 1,100 | 3,90 | 109,41 | 6,51E+07 | 16,00 | 38,00 | 38,60 | 43,13 | 47,80 | F5(20%) + H3 | F5(20%) + H3 | Reest. de Base + TSD(10%) TSD(20%) | 51,29 | 55,00 |
| 33 | 63,500 | 64,300 | 800 | 4,10 | 125,49 | 6,51E+07 | 16,00 | 40,00 | 42,50 | 43,13 | 47,80 | F5(30%) + REP + H3 | F5(30%) + REP + H3 | Reest. de Base + TSD(20%) TSD(80%) | 63,17 | 65,00 |

| SEGMENTOS HOMOGÊNEOS | | | | PARÂMETROS DECISIVOS | | | | | SOLUÇÕES DO CATÁLOGO | | | | (FC2 + FC3 + R) % | ÁREA DE PRESAÇÃO CONF. NOTA TÉCNICA Nº 34/2011 | | | | | |
|-----------------------------------|------------|---------|--------------|----------------------|---------------------------|----------|-------|-------------|--------------------------------------|--|--|-----------------------------|-------------------|---|--------------------------------------|----------------------|--------|-------|--|
| Nº | QUILÔMETRO | | Extensão (m) | FUNCIONAIS | | LOG | N | ESTRUTURAIS | | | CREMA 2ª ETAPA + REFORÇO PRO-11/79 | | | | CREMA 2ª ETAPA + REFORÇO TECNAPAV | | ACOST. | | |
| | Inicial | Final | | IRI (QV13) | h _e - C8UQ(cm) | | | Hog (cm) | D _c Benckman (0,01 mm) | D _{max} PRO11/79 (0,01 mm) | D _{max} PRO26/94 (0,01 mm) | PISTA | PISTA | | | | | | |
| BR-222/ICE - km 228,7 ao km 311,9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 34 | 228,700 | 230,135 | 1.435 | 3,30 | 99,91 | 9,53E+07 | 19,00 | 38,00 | 78,40 | 40,33 | 44,50 | F5(20%) + H12 | | F5(20%) + H10 | | Reest. de Base + TSD | 54,11 | 55,00 | |
| 34A | 230,135 | 230,146 | 11 | | | | | | | | | Ponte s/ Riacho Santa Rosa | | | | | | | |
| 35 | 230,146 | 233,490 | 3.344 | 3,20 | 105,59 | 9,53E+07 | 20,00 | 42,00 | 56,80 | 40,33 | 44,50 | F5(20%) + H6 | | F5(20%) + H18 | | Reest. de Base + TSD | 65,61 | 65,00 | |
| 35A | 233,490 | 233,508 | 18 | | | | | | | | | Ponte s/ Riacho Jordão | | | | | | | |
| 36 | 233,508 | 234,900 | 1.392 | 3,00 | 102,83 | 9,53E+07 | 20,00 | 38,00 | 34,40 | 40,33 | 44,50 | F5(5%) + LG | | F5(5%) + LG | | TSD | 66,01 | 70,00 | |
| 37 | 234,900 | 236,200 | 1.300 | 2,90 | 85,94 | 9,53E+07 | 16,00 | 43,00 | 41,50 | 40,33 | 44,50 | F5(5%) + H3 | | F5(5%) + H18 | | Reest. de Base + TSD | 56,88 | 60,00 | |
| 38 | 236,200 | 237,800 | 1.600 | 3,30 | 151,58 | 9,53E+07 | 16,00 | 40,00 | 54,00 | 40,33 | 44,50 | F5(20%) + H5 | | F5(20%) + H18 | | Reest. de Base + TSD | 70,89 | 70,00 | |
| 39 | 237,800 | 238,854 | 1.054 | 3,00 | 118,65 | 9,53E+07 | 16,00 | 45,00 | 56,30 | 40,33 | 44,50 | F5(5%) + H6 | | F5(5%) + H18 | | Reest. de Base + TSD | 70,78 | 70,00 | |
| 39A | 238,854 | 238,865 | 11 | | | | | | | | | Ponte s/ Riacho Santa Luzia | | | | | | | |
| 40 | 238,865 | 240,400 | 1.535 | 3,20 | 122,99 | 9,53E+07 | 21,00 | 40,00 | 70,40 | 40,33 | 44,50 | F5(20%) + H10 | | F5(20%) + H18 | | Reest. de Base + TSD | 59,97 | 60,00 | |
| 41 | 240,400 | 242,450 | 2.050 | 3,30 | 111,78 | 9,53E+07 | 21,00 | 40,00 | 72,20 | 40,33 | 44,50 | F5(20%) + H10 | | F5(20%) + H18 | | Reest. de Base + TSD | 58,43 | 60,00 | |
| 41A | 242,450 | 242,460 | 10 | | | | | | | | | Ponte s/ Riacho Cajazeiras | | | | | | | |
| 42 | 242,460 | 245,600 | 3.140 | 3,20 | 103,47 | 9,53E+07 | 10,00 | 41,00 | 72,40 | 40,33 | 44,50 | F5(20%) + H10 | | F5(20%) + H18 | | Reest. de Base + TSD | 56,78 | 60,00 | |
| 43 | 245,600 | 248,700 | 3.100 | 2,70 | 74,75 | 9,53E+07 | 10,00 | 41,00 | 46,40 | 40,33 | 44,50 | F5(5%) + H2 | | F5(5%) + H3 | | Reest. de Base + TSD | 43,08 | 45,00 | |
| 44 | 248,700 | 250,000 | 1.300 | 2,70 | 25,37 | 9,53E+07 | 10,00 | 41,00 | 23,80 | 40,33 | 44,50 | F5(5%) + LG | | F5(5%) + LG | | TSD | 14,62 | 15,00 | |
| 45 | 250,000 | 251,235 | 1.235 | 2,60 | 60,76 | 9,53E+07 | 10,00 | 40,00 | 42,40 | 40,33 | 44,50 | F5(5%) + H1 | | F5(5%) + H3 | | Reest. de Base + TSD | 31,45 | 35,00 | |
| 45A | 251,235 | 251,245 | 10 | | | | | | | | | Ponte s/ Riacho Ipueiras | | | | | | | |
| 46 | 251,245 | 253,900 | 2.655 | 2,90 | 67,37 | 9,53E+07 | 10,00 | 28,00 | 49,50 | 40,33 | 44,50 | F5(5%) + H4 | | F5(5%) + H3 | | Reest. de Base + TSD | 36,65 | 40,00 | |
| 47 | 253,900 | 254,300 | 400 | 3,10 | 133,07 | 9,53E+07 | 10,00 | 40,00 | 64,10 | 40,33 | 44,50 | F5(20%) + H8 | | F5(20%) + H7 | | Reest. de Base + TSD | 59,05 | 60,00 | |
| 47A | 254,300 | 254,307 | 7 | | | | | | | | | Ponte s/ Riacho Salgado | | | | | | | |
| 48 | 254,300 | 256,800 | 2.500 | 2,80 | 95,42 | 9,53E+07 | 17,00 | 30,00 | 72,40 | 40,33 | 44,50 | F5(5%) + H10 | | F5(5%) + H9 | | Reest. de Base + TSD | 38,67 | 40,00 | |
| 49 | 256,800 | 257,600 | 800 | 3,00 | 112,36 | 9,53E+07 | 17,00 | 40,00 | 92,90 | 40,33 | 44,50 | F5(5%) + H14 | | F5(5%) + H11 | | Reest. de Base + TSD | 57,80 | 60,00 | |
| 50 | 257,600 | 260,984 | 3.384 | 2,80 | 119,30 | 9,53E+07 | 17,00 | 34,00 | 89,40 | 40,33 | 44,50 | F5(5%) + H14 | | F5(5%) + H12 | | Reest. de Base + TSD | 43,51 | 45,00 | |

| SEGMENTOS HOMOGÊNEOS | | | | PARÂMETROS DECISIVOS | | | | | SOLUÇÕES DO CATÁLOGO | | | | (FC2 + FC3 + R) % | ÁREA DE PRESERVAÇÃO CONF. NOTA TÉCNICA Nº 34/2011 | | |
|----------------------------------|------------|---------|--------------|----------------------|----------------|----------|-------|-------------|--------------------------|---------------------------------------|---|--------------------------------------|-------------------|--|--------------------------------------|--------|
| Nº | QUILÔMETRO | | Extensão (m) | FUNCIONAIS | | IGG | Nº | ESTRUTURAIS | | | | CREMA 2ª ETAPA + REFORÇO PRO-1179 | | | CREMA 2ª ETAPA + REFORÇO TECNAPAV | ACOST. |
| | Inicial | Final | | IRI (QV13) | he - CBUQ (cm) | | | Hog (cm) | Dc Benckman (0,01 mm) | D _{PR} PRO 1179 (0,01 mm) | D _{PR} PRO 269/94 (0,01 mm) | | | | | |
| BR-222/CE - km 228,7 ao km 314,9 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 50A | 260,984 | 261,000 | 16 | | | | | | | | | Ponte s/ Riacho Trapla | | | | |
| 51 | 261,000 | 263,738 | 2.738 | 2,30 | 56,65 | 9.53E+07 | 17,00 | 35,00 | 51,50 | 40,33 | 44,50 | F5(5%) + H4 | | Reest. de Base + TSD | 31,78 | 35,00 |
| 51A | 263,738 | 263,756 | 18 | | | | | | | | | Ponte s/ Riacho do Saco | | | | |
| 52 | 263,756 | 264,600 | 844 | 2,20 | 85,31 | 9.53E+07 | 20,00 | 35,00 | 63,2 | 40,33 | 44,50 | F5(5%) + H8 | | Reest. de Base + TSD | 32,09 | 35,00 |
| 53 | 264,600 | 265,600 | 1.000 | 2,00 | 61,06 | 9.53E+07 | 20,00 | 35,00 | 59,6 | 40,33 | 44,50 | F5(5%) + H7 | | Reest. de Base + TSD | 38,04 | 40,00 |
| 54 | 265,600 | 266,516 | 916 | 2,70 | 42,60 | 9.53E+07 | 20,00 | 40,00 | 55,0 | 40,33 | 44,50 | F5(5%) + H5 | | Reest. de Base + TSD | 21,11 | 25,00 |
| 54A | 266,516 | 266,526 | 10 | | | | | | | | | Ponte s/ Riacho Fundo | | | | |
| 55 | 266,526 | 268,300 | 1.774 | 2,20 | 76,82 | 9.53E+07 | 13,00 | 30,00 | 61,2 | 40,33 | 44,50 | F5(5%) + H7 | | Reest. de Base + TSD | 34,13 | 35,00 |
| 56 | 268,300 | 270,000 | 1.700 | 2,50 | 82,74 | 9.53E+07 | 13,00 | 35,00 | 67,0 | 40,33 | 44,50 | F5(5%) + H9 | | Reest. de Base + TSD | 32,37 | 35,00 |
| 57 | 270,000 | 275,640 | 5.640 | 2,70 | 81,49 | 9.53E+07 | 13,00 | 40,00 | 41,7 | 40,33 | 44,50 | F5(5%) + H1 | | Reest. de Base + TSD | 37,89 | 40,00 |
| 57A | 275,640 | 275,686 | 46 | | | | | | | | | Ponte s/ Rio Caiçara | | | | |
| 58 | 275,686 | 278,366 | 2.680 | 3,10 | 115,47 | 9.53E+07 | 13,00 | 40,00 | 66,2 | 40,33 | 44,50 | F5(20%) + H9 | | Reest. de Base + TSD | 61,57 | 65,00 |
| 58A | 278,366 | 278,377 | 11 | | | | | | | | | Ponte s/ Riacho do Banil | | | | |
| 59 | 278,377 | 278,578 | 201 | 3,00 | 68,57 | 9.53E+07 | 13,00 | 37,00 | 40,6 | 40,33 | 44,50 | F5(5%) + LG | | TSD | 52,73 | 55,00 |
| 59A | 278,578 | 278,596 | 18 | | | | | | | | | Ponte s/ Riacho Mela Pinto | | | | |
| 60 | 278,596 | 278,832 | 236 | 3,00 | 52,37 | 9.53E+07 | 13,00 | 45,00 | 50,3 | 40,33 | 44,50 | F5(5%) + H4 | | Reest. de Base + TSD | 26,92 | 30,00 |
| 60A | 278,832 | 278,856 | 24 | | | | | | | | | Ponte s/ Riacho da Serra | | | | |
| 61 | 278,856 | 279,200 | 344 | 3,00 | 112,99 | 9.53E+07 | 13,00 | 40,00 | 75,0 | 40,33 | 44,50 | F5(5%) + H11 | | Reest. de Base + TSD | 32,78 | 35,00 |
| 62 | 279,200 | 281,675 | 2.475 | 3,30 | 97,12 | 9.53E+07 | 13,00 | 35,00 | 59,6 | 40,33 | 44,50 | F5(20%) + H7 | | Reest. de Base + TSD | 49,86 | 50,00 |
| 62A | 281,675 | 281,684 | 9 | | | | | | | | | Ponte s/ Riacho Pesqueiro | | | | |
| 63 | 281,684 | 284,600 | 2.916 | 3,20 | 61,06 | 9.53E+07 | 20,00 | 35,00 | 59,6 | 40,33 | 44,50 | F5(20%) + H7 | | Reest. de Base + TSD | 50,73 | 50,00 |
| 64 | 284,600 | 286,117 | 1.517 | 3,30 | 137,13 | 9.53E+07 | 20,00 | 25,00 | 64,4 | 40,33 | 44,50 | F5(20%) + H8 | | Reest. de Base + TSD | 39,61 | 40,00 |
| 64A | 286,117 | 286,128 | 11 | | | | | | | | | Ponte s/ Riacho do Cobre | | | | |
| 65 | 286,128 | 287,000 | 872 | 3,10 | 164,81 | 9.53E+07 | 20,00 | 35,00 | 123,4 | 40,33 | 44,50 | F5(20%) + H19 | | Reest. de Base + TSD | 55,13 | 55,00 |
| 66 | 287,000 | 287,500 | 500 | 2,90 | 137,45 | 9.53E+07 | 20,00 | 40,00 | 105,5 | 40,33 | 44,50 | F5(5%) + H17 | | Reest. de Base + TSD | 66,38 | 70,00 |
| 67 | 287,500 | 287,947 | 447 | 2,90 | 158,01 | 9.53E+07 | 20,00 | 30,00 | 90,3 | 40,33 | 44,50 | F5(5%) + H14 | | Reest. de Base + TSD | 71,39 | 75,00 |

| SEGMENTOS HOMOGÊNEOS | | | | PARÂMETROS DECISIVOS | | | | SOLUÇÕES DO CATÁLOGO | | | | (FC2 + FC3 + R) % | ÁREA DE PRESERVAÇÃO* CONF. NOTA TÉCNICA Nº 34/2011 | | |
|----------------------------------|------------|---------|--------------|----------------------|--------|----------|---------------|----------------------|--------------------------|--|---------------------------------------|--|---|----------------------|--------------------------------------|
| Nº | QUILÔMETRO | | Extensão (m) | FUNCIONAIS | | N | ESTRUTURAIS | | | | CREMA 2ª ETAPA + REFORÇO PRO-11/79 | | | PISTA | CREMA 2ª ETAPA + REFORÇO TECNAPAV |
| | Inicial | Final | | IRI (QV13) | IG | | he - CBUC(cm) | Hog (cm) | Dc Benckman (0,01 mm) | D _{max} (0,01 mm) - PRO11/79 | | D _{max} (0,01 mm) - PRO26/94 | | | |
| BR-222/CE - km 228,7 ao km 311,9 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 67A | 287,947 | 287,954 | 7 | | | | | | | | | | | | |
| 68 | 287,954 | 289,400 | 1.446 | 2,80 | 110,47 | 9,53E+07 | 20,00 | 34,00 | 81,8 | 40,33 | 44,50 | | F5(5%) + H12 | Reest. de Base + TSD | 61,20 |
| 69 | 289,400 | 290,000 | 600 | 3,00 | 163,48 | 9,53E+07 | 20,00 | 35,00 | 73,5 | 40,33 | 44,50 | | F5(5%) + H10 | Reest. de Base + TSD | 72,64 |
| 70 | 290,000 | 290,126 | 126 | 3,00 | 86,80 | 9,53E+07 | 20,00 | 40,00 | 85,7 | 40,33 | 44,50 | | F5(5%) + H13 | Reest. de Base + TSD | 71,43 |
| 70A | 290,126 | 290,134 | 8 | | | | | | | | | | | | |
| 71 | 290,134 | 291,200 | 1.066 | 3,00 | 83,73 | 9,53E+07 | 8,00 | 40,00 | 83,1 | 40,33 | 44,50 | | F5(5%) + H13 | Reest. de Base + TSD | 63,44 |
| 72 | 291,200 | 293,019 | 1.819 | 2,90 | 69,35 | 9,53E+07 | 8,00 | 40,00 | 80,1 | 40,33 | 44,50 | | F5(5%) + H12 | Reest. de Base + TSD | 48,93 |
| 72A | 293,019 | 293,036 | 17 | | | | | | | | | | | | |
| 73 | 293,036 | 294,500 | 1.464 | 3,00 | 78,72 | 9,53E+07 | 8,00 | 30,00 | 86,6 | 40,33 | 44,50 | | F5(5%) + H13 | Reest. de Base + TSD | 56,24 |
| 74 | 294,500 | 295,700 | 1.200 | 2,90 | 106,81 | 9,53E+07 | 8,00 | 35,00 | 87,7 | 40,33 | 44,50 | | F5(5%) + H13 | Reest. de Base + TSD | 58,95 |
| 75 | 295,700 | 297,500 | 1.800 | 3,30 | 79,36 | 9,53E+07 | 8,00 | 30,00 | 85,2 | 40,33 | 44,50 | | F5(20%) + H13 | Reest. de Base + TSD | 57,25 |
| 76 | 297,500 | 298,300 | 800 | 2,90 | 72,04 | 9,53E+07 | 8,00 | 25,00 | 84,4 | 40,33 | 44,50 | | F5(5%) + H13 | Reest. de Base + TSD | 55,61 |
| 77 | 298,300 | 298,900 | 600 | 3,10 | 56,66 | 9,53E+07 | 8,00 | 27,00 | 86,5 | 40,33 | 44,50 | | F5(10%) + H13 | Reest. de Base + TSD | 47,42 |
| 78 | 298,900 | 300,700 | 1.800 | 2,90 | 56,74 | 9,53E+07 | 8,00 | 35,00 | 78,2 | 40,33 | 44,50 | | F5(5%) + H12 | Reest. de Base + TSD | 50,00 |
| 79 | 300,700 | 301,200 | 500 | 3,00 | 67,93 | 9,53E+07 | 8,00 | 35,00 | 71,8 | 40,33 | 44,50 | | F5(5%) + H10 | Reest. de Base + TSD | 48,50 |
| 80 | 301,200 | 302,000 | 800 | 3,00 | 59,33 | 9,53E+07 | 8,00 | 30,00 | 73,0 | 40,33 | 44,50 | | F5(5%) + H9 | Reest. de Base + TSD | 49,85 |
| 81 | 302,000 | 302,400 | 400 | 3,90 | 70,95 | 9,53E+07 | 8,00 | 40,00 | 65,3 | 40,33 | 44,50 | | F5(5%) + H10 | Reest. de Base + TSD | 46,50 |
| 82 | 302,400 | 303,700 | 1.300 | 3,60 | 81,83 | 9,53E+07 | 8,00 | 30,00 | 80,2 | 40,33 | 44,50 | | F5(20%) + H8 | Reest. de Base + TSD | 60,50 |
| 83 | 303,700 | 304,700 | 1.000 | 3,30 | 66,62 | 9,53E+07 | 8,00 | 20,00 | 78,0 | 40,33 | 44,50 | | F5(20%) + H12 | Reest. de Base + TSD | 63,09 |
| 84 | 304,700 | 305,800 | 1.100 | 3,60 | 92,65 | 9,53E+07 | 8,00 | 35,00 | 73,7 | 40,33 | 44,50 | | F5(20%) + H11 | Reest. de Base + TSD | 50,78 |
| 85 | 305,800 | 308,300 | 2.500 | 3,60 | 52,85 | 9,53E+07 | 8,00 | 30,00 | 81,5 | 40,33 | 44,50 | | F5(20%) + H10 | Reest. de Base + TSD | 58,00 |
| 86 | 308,300 | 309,500 | 1.200 | 3,30 | 72,83 | 9,53E+07 | 8,00 | 30,00 | 76,2 | 40,33 | 44,50 | | F5(10%) + H9 | Reest. de Base + TSD | 35,11 |
| 87 | 309,500 | 311,200 | 1.700 | 6,90 | 160,14 | 9,53E+07 | 8,00 | 30,00 | 78,2 | 40,33 | 44,50 | | F5(10%) + H11 | Reest. de Base + TSD | 35,00 |
| 88 | 311,200 | 311,900 | 700 | 8,20 | 233,01 | 9,53E+07 | 8,00 | 35,00 | 81,3 | 40,33 | 44,50 | | F5(20%) + H12 | Reest. de Base + TSD | 65,08 |
| | | | | | | | | REC10 | | | | | F5(20%) + H18 | Reest. de Base + TSD | 85,65 |
| | | | | | | | | REC10 | | | | | REC + TSD | REC + TSD | 100,00 |

| SEGMENTOS HOMOGÊNEOS | | | | PARÂMETROS DECISIVOS | | | | | SOLUÇÕES DO CATALOGO | | | | | (FC2 + FC3 + R) % | ÁREA DE FRESAGEM CONF. NOTA TÉCNICA Nº 34/2011 | |
|----------------------------------|------------|---------|--------------|----------------------|--------|-------------|---------------|----------|---------------------------------------|-------|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|--|-------|
| Km | QUILÔMETRO | | Extensão (m) | FUNCIONAIS | | ESTRUTURAIS | | | CREMA 2ª ETAPA + REFORÇO PRO-11/79 | PISTA | CREMA 2ª ETAPA + REFORÇO TECNAPAV | ACOST. | | | | |
| | Inicial | Final | | IRI (QV13) | IG | N | he - CBUQ(cm) | Hog (cm) | | | | | Dc Benkelman (0,01 mm) | Dma PRO11/79 (0,01 mm) - PRO269/94 | | |
| BR-222/CE - km 318,2 ao km 348,8 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 89 | 318,200 | 322,200 | 4.000 | 5,50 | 132,06 | 8,37E+07 | 9,00 | 26,00 | 69,3 | 41,27 | 45,60 | F5(30%) + REP + H9 | F5(30%) + REP + H8 | Reest. de Base + TSD | 84,36 | 85,00 |
| 90 | 322,200 | 324,000 | 1.800 | 6,60 | 113,77 | 8,37E+07 | 9,00 | 30,00 | 71,0 | 41,27 | 45,60 | FR5(100%) + REP + TSDpol + H9 | FR5(100%) + REP + TSDpol + H8 | Reest. de Base + TSD | 73,01 | 75,00 |
| 91 | 324,000 | 325,900 | 1.900 | 7,30 | 141,22 | 8,37E+07 | 9,00 | 35,00 | 67,9 | 41,27 | 45,60 | FR5(100%) + REP + TSDpol + H9 | FR5(100%) + REP + TSDpol + H8 | Reest. de Base + TSD | 88,69 | 90,00 |
| 92 | 325,900 | 328,200 | 2.300 | 3,50 | 95,82 | 8,37E+07 | 5,50 | 30,00 | 65,3 | 41,27 | 45,60 | F5(20%) + H8 | F5(20%) + H10 | Reest. de Base + TSD | 62,52 | 65,00 |
| 93 | 328,200 | 329,600 | 1.400 | 4,80 | 63,99 | 8,37E+07 | 5,50 | 34,00 | 64,1 | 41,27 | 45,60 | F5(20%) + REP + H8 | F5(20%) + REP + H10 | Reest. de Base + TSD | 56,08 | 60,00 |
| 94 | 329,600 | 333,700 | 4.100 | 4,80 | 111,33 | 8,37E+07 | 12,00 | 30,00 | 69,4 | 41,27 | 45,60 | F5(30%) + REP + H9 | F5(30%) + REP + H8 | Reest. de Base + TSD | 80,03 | 80,00 |
| 95 | 333,700 | 336,100 | 2.400 | 5,00 | 110,60 | 8,37E+07 | 12,00 | 35,00 | 72,4 | 41,27 | 45,60 | F5(30%) + REP + H10 | F5(30%) + REP + H9 | Reest. de Base + TSD | 83,62 | 85,00 |
| 96 | 336,100 | 338,200 | 2.100 | 6,00 | 111,42 | 8,37E+07 | 12,00 | 40,00 | 74,3 | 41,27 | 45,60 | FR5(100%) + REP + TSDpol + H10 | FR5(100%) + REP + TSDpol + H9 | Reest. de Base + TSD | 84,13 | 85,00 |
| 97 | 338,200 | 339,200 | 1.000 | 5,60 | 114,20 | 8,37E+07 | 12,00 | 35,00 | 81,8 | 41,27 | 45,60 | FR5(100%) + REP + TSDpol + H12 | FR5(100%) + REP + TSDpol + H10 | Reest. de Base + TSD | 80,35 | 80,00 |
| 98 | 339,200 | 340,200 | 1.000 | 8,40 | 122,01 | 8,37E+07 | 12,00 | 30,00 | 92,3 | 41,27 | 45,60 | FR5(100%) + REP + TSDpol + H14 | FR5(100%) + REP + TSDpol + H12 | Reest. de Base + TSD | 81,06 | 85,00 |
| 99 | 340,200 | 341,200 | 1.000 | 6,40 | 81,20 | 8,37E+07 | 12,00 | 40,00 | 88,7 | 41,27 | 45,60 | FR5(100%) + REP + TSDpol + H13 | FR5(100%) + REP + TSDpol + H12 | Reest. de Base + TSD | 58,12 | 60,00 |
| 100 | 341,200 | 345,000 | 3.800 | 4,30 | 79,38 | 8,37E+07 | 12,00 | 32,00 | 77,5 | 41,27 | 45,60 | F5(20%) + REP + H11 | F5(20%) + REP + H10 | Reest. de Base + TSD | 60,81 | 60,00 |
| 101 | 345,000 | 347,300 | 2.300 | 3,70 | 69,66 | 8,37E+07 | 12,00 | 33,00 | 76,0 | 41,27 | 45,60 | F5(20%) + H11 | F5(20%) + H9 | Reest. de Base + TSD | 56,21 | 60,00 |
| 102 | 347,300 | 348,800 | 1.500 | 3,90 | 74,40 | 8,37E+07 | 12,00 | 31,00 | 80,6 | 41,27 | 45,60 | F5(20%) + H12 | F5(20%) + H9 | Reest. de Base + TSD | 52,66 | 55,00 |

| SEGMENTOS HOMOGÊNEOS | | | | PARÂMETROS DECISIVOS | | | | | | SOLUÇÕES DO CATÁLOGO | | | | (FC2 + FC3 + R) % | ÁREA DE FRESAGEM CONF. NOTA TÉCNICA Nº 34/2011 | |
|---|------------|-------|--------------|----------------------|--------|-------------|--------------|----------|--------------------------|--|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|----------------------|--|--------|
| Nº | QUILÔMETRO | | Extensão (m) | FUNCIONAIS | | ESTRUTURAIS | | | | CREMA 2ª ETAPA + REFORÇO PRO-11/79 | | CREMA 2ª ETAPA + REFORÇO TECNAPAV | | | | |
| | Inicial | Final | | IRI (QV13) | IG | N | he - CBUC(m) | Hog (cm) | Dc Benckman (0,01 mm) | D _{max} PRO11/79 (0,01 mm) | D _{max} 0,1 mm) - PRO2694 | PISTA | PISTA | ACOST. | | |
| Acesso Leste Caucaia - LD (Pista Dupla) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 103 | 0,000 | 1,492 | 1,492 | 2,70 | 24,55 | 5,04E+07 | 6,00 | 35,00 | 74,1 | 45,12 | 50,10 | F5(5%) + H9 | F5(5%) + H7 | Reest. de Base + TSD | 13,82 | 15,00 |
| 103A | 1,492 | 1,560 | 68 | | | | | | | | | Ponte s/ Rio Ceará | | | | |
| 104 | 1,560 | 3,300 | 1,740 | 2,50 | 58,51 | 5,04E+07 | 5,00 | 31,00 | 87,1 | 45,12 | 50,10 | F5(5%) + H11 | F5(5%) + H10 | Reest. de Base + TSD | 30,00 | 30,00 |
| 105 | 3,300 | 4,100 | 800 | 2,60 | 14,02 | 5,04E+07 | 5,00 | 30,00 | 65,5 | 45,12 | 50,10 | H6 | H7 | Reest. de Base + TSD | 7,07 | 10,00 |
| Acesso Leste Caucaia - LE (Pista Dupla) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 106 | 0,000 | 1,492 | 1,492 | 2,40 | 19,82 | 5,04E+07 | 6,00 | 35,00 | 73,6 | 45,12 | 50,10 | H9 | H7 | Reest. de Base + TSD | 9,08 | 10,00 |
| 106A | 1,492 | 1,560 | 68 | | | | | | | | | Ponte s/ Rio Ceará | | | | |
| 107 | 1,560 | 3,300 | 1,740 | 2,90 | 25,90 | 5,04E+07 | 5,00 | 40,00 | 78,4 | 45,12 | 50,10 | F5(5%) + H10 | F5(5%) + H9 | Reest. de Base + TSD | 5,45 | 5,00 |
| 108 | 3,300 | 4,100 | 800 | 2,50 | 9,95 | 5,04E+07 | 5,00 | 30,00 | 74,6 | 45,12 | 50,10 | H9 | H9 | Reest. de Base + TSD | 2,93 | 5,00 |
| Acesso Oeste Caucaia | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 109 | 0,000 | 0,500 | 500 | 4,90 | 186,69 | 2,80E+07 | 4,00 | 30,00 | 77,8 | 50,04 | 55,97 | F5(30%) + REP + H8 | F5(30%) + REP + H14 | Reest. de Base + TSD | 80,00 | 80,00 |
| 110 | 0,500 | 0,900 | 400 | 2,30 | 153,13 | 2,80E+07 | 4,00 | 35,00 | 76,9 | 50,04 | 55,97 | F5(5%) + H7 | F5(5%) + H14 | Reest. de Base + TSD | 80,00 | 80,00 |
| 111 | 0,900 | 1,300 | 400 | 3,40 | 177,11 | 2,80E+07 | 4,00 | 35,00 | 85,8 | 50,04 | 55,97 | F5(20%) + H9 | F5(20%) + H14 | Reest. de Base + TSD | 80,00 | 80,00 |
| 112 | 1,300 | 2,000 | 700 | 8,60 | 194,18 | 2,80E+07 | 4,00 | 35,00 | 83,9 | 50,04 | 55,97 | REC9 | REC9 | REC + TSD | 83,33 | 85,00 |
| 113 | 2,000 | 2,300 | 300 | 8,60 | 153,64 | 2,80E+07 | 4,00 | 24,00 | 83,9 | 50,04 | 55,97 | REC9 | REC9 | REC + TSD | 87,50 | 90,00 |
| 114 | 2,300 | 4,200 | 1,900 | 8,60 | 178,78 | 2,80E+07 | 4,00 | 40,00 | 83,9 | 50,04 | 55,97 | REC9 | REC9 | REC + TSD | 88,12 | 90,00 |
| 114A | 4,200 | 4,208 | 8 | | | | | | | | | Ponte | | | | |
| 115 | 4,208 | 5,400 | 1,192 | 11,00 | 225,77 | 2,80E+07 | 4,00 | 35,00 | 118,2 | 50,04 | 55,97 | REC9 | REC9 | REC + TSD | 89,41 | 90,00 |
| 116 | 5,400 | 6,200 | 800 | 8,20 | 244,14 | 2,80E+07 | 6,00 | 35,00 | 84,2 | 50,04 | 55,97 | REC9 | REC9 | REC + TSD | 90,38 | 90,00 |
| 117 | 6,200 | 7,000 | 800 | 8,90 | 242,60 | 2,80E+07 | 6,00 | 30,00 | 77,7 | 50,04 | 55,97 | REC9 | REC9 | REC + TSD | 100,00 | 100,00 |
| 118 | 7,000 | 8,100 | 1,100 | 6,10 | 240,22 | 2,80E+07 | 6,00 | 51,00 | 93,7 | 50,04 | 55,97 | REC9 | REC9 | REC + TSD | 99,82 | 100,00 |
| 119 | 8,100 | 9,000 | 900 | 10,30 | 260,44 | 2,80E+07 | 6,00 | 30,00 | 75,0 | 50,04 | 55,97 | REC9 | REC9 | REC + TSD | 100,00 | 100,00 |
| 120 | 9,000 | 9,660 | 660 | 5,20 | 202,86 | 2,80E+07 | 6,00 | 39,00 | 79,5 | 50,04 | 55,97 | F5(30%) + REP + H8 | F5(30%) + REP + H8 | Reest. de Base + TSD | 100,00 | 100,00 |

| SEGMENTOS HOMOGÊNEOS | | | | PARÂMETROS DECISIVOS | | | | SOLUÇÕES DO CATÁLOGO | | | | (FC2 + FC3 + R) % | ÁREA DE PRESERVAÇÃO CONF. NOTA TÉCNICA Nº 34/2011 | |
|--|------------|-------|--------------|----------------------|--------|----------|-----------------|----------------------|--------------------------------|--|--|--------------------------------|--|--------|
| Nº | QUILÔMETRO | | Extensão (m) | FUNCIONAIS | | Z | ESTRUTURAIS | | | CREMA 2ª ETAPA + REFORÇO PRO-11/79 | | | | PISTA |
| | Inicial | Final | | IRI (QV13) | ICG | | he - CBUCA (cm) | Hog (cm) | D _{benkman} (0,01 mm) | D _{acm} (0,01 mm) - PRO-11/79 | D _{acm} (0,01 mm) - PRO-26/94 | | | |
| Acesso Leste Sobral - LD (Pista Dupla) | | | | | | | | | | | | | | |
| 121 | 0,000 | 0,900 | 900 | 3,60 | 72,25 | 4,41E+07 | 7,00 | 35,00 | 168,3 | 46,19 | 51,40 | F5(20%) + H22 | Reest. de Base + TSD | 50,00 |
| 122 | 0,900 | 1,896 | 996 | 3,80 | 44,54 | 4,41E+07 | 7,00 | 40,00 | 220,5 | 46,19 | 51,40 | F5(10%) + H27 | Reest. de Base + TSD | 35,00 |
| 122A | 1,896 | 1,944 | 48 | | | | | | | | | Ponte s/ Rio Oiticica | | |
| 123 | 1,944 | 3,005 | 1,061 | 5,10 | 63,93 | 4,41E+07 | 7,00 | 40,00 | 166,4 | 46,19 | 51,40 | F5(20%) + REP + H22 | Reest. de Base + TSD | 50,00 |
| 123A | 3,005 | 3,207 | 202 | | | | | | Ponte | | | | | |
| 124 | 3,207 | 3,700 | 493 | 7,60 | 57,87 | 4,41E+07 | 7,00 | 43,00 | 217,7 | 46,19 | 51,40 | FR5(100%) + REP + TSDpol + H27 | Reest. de Base + TSD | 35,00 |
| Acesso Leste Sobral - LE (Pista Dupla) | | | | | | | | | | | | | | |
| 125 | 0,000 | 0,900 | 900 | 3,10 | 100,37 | 4,41E+07 | 7,00 | 35,00 | 119,4 | 46,19 | 51,40 | F5(20%) + H16 | Reest. de Base + TSD | 60,00 |
| 126 | 0,900 | 1,896 | 996 | 4,60 | 70,03 | 4,41E+07 | 7,00 | 41,00 | 178,7 | 46,19 | 51,40 | F5(20%) + REP + H24 | Reest. de Base + TSD | 55,00 |
| 126A | 1,896 | 1,944 | 48 | | | | | | | | | Ponte s/ Rio Oiticica | | |
| 127 | 1,944 | 3,005 | 1,061 | 6,20 | 101,02 | 4,41E+07 | 7,00 | 35,00 | 128,3 | 46,19 | 51,40 | FR5(100%) + REP + TSDpol + H18 | Reest. de Base + TSD | 80,00 |
| 127A | 3,005 | 3,207 | 202 | | | | | | | | | Ponte | | |
| 128 | 3,207 | 3,700 | 493 | 7,90 | 99,79 | 4,41E+07 | 7,00 | 36,00 | 245,1 | 46,19 | 51,40 | FR5(100%) + REP + TSDpol + H29 | Reest. de Base + TSD | 65,00 |
| Acesso Oeste Sobral | | | | | | | | | | | | | | |
| 129 | 0,000 | 1,086 | 1,086 | 5,00 | 242,71 | 3,36E+07 | 9,00 | 45,00 | 100,9 | 48,46 | 54,10 | F5(30%) + REP + H13 | Reest. de Base + TSD | 100,00 |
| 129A | 1,086 | 1,100 | 14 | | | | | | | | | Ponte | | |
| 130 | 1,100 | 1,500 | 400 | 4,60 | 143,28 | 3,36E+07 | 9,00 | 43,00 | 99,8 | 48,46 | 54,10 | F5(30%) + REP + H13 | Reest. de Base + TSD | 100,00 |
| 131 | 1,500 | 2,400 | 900 | 4,50 | 107,06 | 3,36E+07 | 9,00 | 44,00 | 126,4 | 48,46 | 54,10 | F5(30%) + REP + H17 | Reest. de Base + TSD | 60,00 |